FRONTEIRA DO ESPAÇO

WERNHÉR VON BRAUN

Diretor do Centro de
Vôo Espacial George C. Marshall

IBRASA

FRONTEIRA DO ESPAÇO

Wernher von Braun

DIRETOR DO
GEORGE C. MARSHALL
SPACE FLIGHT CENTER

É calidoscópica a natureza do vôo espacial, feito de geografia, engenharia, física, química, cibernética, biologia e medicina, tudo isso envolto em dinâmica embalagem, que a todo instante se transforma. Cada lançamento cria novas facêtas no quadro da viagem espacial e permite que façam novas descobertas os homens que se acham exatamente no limiar de nossa fronteira espacial.

Nesta obra, o dr. Wernher von Braun, cujo primeiro livro constituiu absoluto êxito de livraria, expõe ao público êsse complexo e fascinante assunto em têrmos quê qualqüer leitor pode entender. Trata dos mais variados aspectos do problema, como a contagem regressiva, a verificação automática dos foguetes, o desenho dos veículos espaciais, as estações tripuladas, o consêrto dos mecanismos espaciais, os ônibus do espaço e muitas outras questões.

O Dr. von Braun dedica boa parte dêste livro a tópicos dos mais absorventes, como as novas descobertas e os mal conhecidos fatos ligados a fases do programa espacial que se referem à segurança, à sobrevivência do astronauta, aos pousos lunares e a viagens a outros planêtas.

Em sua compreensão do mundo, talvez não haja o homem encontrado nada que o tenha apaixonado mais do que o espaço externo. Neste século houve fabuloso impulso no sentido de obter informações de todo tipo a respeito dêsse vasto e inexplorado mundo. Ninguém se acha mais bem provido que o Dr. von Braun para explicar tão complexo e fascinante assunto.

FRONTEIRA
DO ESPAÇO

Biblioteca
CIÊNCIA MODERNA
— 18 —

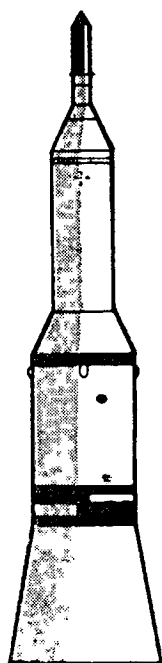
Volumes publicados:

1.	*O Pensamento Artificial*	Pierre de Latil
2.	*Cem Anos de Evolução*	G. S. Carter
3.	*Eletrônica*	A. W. Keen
4.	*O Perigo das Radiações*	R. A. Lapp
5.	*A Nova Astronomia*	Scientific American
6.	*Terra, Nosso Planêta*	Scientific American
7.	*O Imenso Universo*	Scientific American
8.	*A Vida Maravilhosa dos Animais*	Scientific American
9.	*Stress — A Tensão da Vida*	Hans Selye
10.	*Física e Química da Vida*	Scientific American
11.	*A Vida Maravilhosa das Plantas*	Scientific American
12.	*A Nova Química*	Scientific American
13.	*Nosso Futuro Nuclear*	Edward Teller
14.	*Cientistas Famosos*	Scientific American
15.	*Elementos Químicos*	Helen Miles Davis
16.	*O Universo Oscilante*	Ernst J. Öpik
17.	*Apocalipse do Átomo*	Fernand Gigon

FRONTEIRA DO ESPAÇO

WERNHER VON BRAUN
DIRETOR DO CENTRO DE
VÔO ESPACIAL GEORGE C. MARSHALL

Tradução de
BRUNO ULISSES MAZZA

Revisão de
JOSÉ REIS

IBRASA — INSTITUIÇÃO BRASILEIRA DE DIFUSÃO CULTURAL S.A.

Título do original norte-americano:
Space Frontier

Capa de
ALBERTO NACER

Desenhos de ÉLIO DE CASSIO EMILIO,
calcados nas ilustrações originais de ERNST REICHL

Código para obter um livro igual: III-18
Direitos exclusivos para a língua portuguêsa, no Brasil, da
IBRASA — INSTITUIÇÃO BRASILEIRA DE DIFUSÃO CULTURAL S.A.
DIRETORIA — *José Nabantino Ramos, José Reis, Moacyr C. Corrêa*
Pça. D. José Gaspar, 134 — 8.º Andar — C/83 — Tels. 37-5266/32-1908 — S.P.

Publicado em 1969

IMPRESSO NO BRASIL — PRINTED IN BRAZIL

APRESENTAÇÃO AO LEITOR BRASILEIRO

Êste livro, escrito por um dos maiores nomes da astronáutica, relata de maneira muito pessoal o desenvolvimento do esfôrço norte-americano nesse setor, embora não deixe de fazer referências a realizações soviéticas. A fronteira do espaço é descrita com muita proficiência, como seria de esperar de tão grande especialista; mas além disso é escrita com muito sentimento e muita preocupação humana, assim como a naturalidade de quem conta experiências de que tem participado ìntimamente.

Os esforços russos e norte-americanos, em matéria de exploração espacial, têm sido geralmente apresentados em têrmos de corrida ou aposta. Não tem sido raro, por isso, ler até mesmo em órgãos de divulgação oficiais, a cada aventura nova, a afirmação de que êste ou aquêle país passou à frente do outro.

Melhor fôra que se olhassem diferentemente as pesquisas científicas e as conquistas tecnológicas de lado a lado, como parte de um empenho comum de desenvolver o conhecimento científico e tecnológico e, talvez por meio dêle, já que outros recursos parecem falhar, de maior entendimento entre as nações para uma coexistência realmente pacífica.

Com êsse espírito é que alinhamos aqui, para orientação do leitor, algumas das mais significativas datas da conquista espacial:

1957. Sputnik I da Rússia, primeiro engenho espacial.
1958. Explorer I, primeiro engenho espacial norte-americano.
1959. Lunik russo atinge a lua (simples impacto).
1961. Yuri Gagarin realiza a primeira viagem espacial tripulada.
1962. Vôo espacial do coronel norte-americano John Glenn.
1964. Nave espacial com tripulação de três homens, lançada pela Rússia.
1965. O tenente-coronel Alexei Leonov deixa a cápsula em vôo espacial e caminha no espaço seguro por um cabo.
1966. Estados Unidos e Rússia conseguem alunar instrumentos em nosso satélite natural.
1967. Três astronautas norte-americanos e um soviético morrem em acidente espacial, os três primeiros quando o foguete ainda se achava em terra e o russo quando, ao descer à terra, falhou o sistema de pára-queda.
1968. Três norte-americanos, com o Apolo 8, circundam a lua (já circundada antes por veículos automáticos russos e norte-americanos, que lhe fotografaram a face oculta).
1969. Os russos fazem ligação de duas unidades grandes (Soyuz) no espaço, em órbita baixa, passando de uma para outra os tripulantes, por fora das naves. (Prelúdio de plataforma espacial?) Capacidade para 12 cosmonautas e tamanho de uma pequena casa, com divisões.
Os norte-americanos conseguem a extraordinária façanha de, com o Apolo 9, circundar a lua e retornar, soltando e reengatando no espaço o "módulo lunar" concebido para em futuro vôo pousar na lua.

Não se acham mencionados todos os satélites já lançados, nem os foguetes-sondas. No que se refere a satélites de comunicação e exploração científica, tem havido inúmeros lançamentos, devendo-se salientar que o govêrno norte-americano vem divulgando constante informação a respeito dos lançamentos e das observações que estão sendo obtidas.

Muitos ainda perguntarão, cèticamente, se vale a pena ir ao espaço, e acusarão russos e norte-americanos de desviar quantia

correspondente a apreciável porcentagem do produto nacional bruto para entreter os planos astronáuticos. Dispomos, naturalmente de mais dados, e possìvelmente mais fidedignos, a respeito dos Estados Unidos. Em seu período de máximo esplendor a NASA utilizou mais de 40 por cento da verba federal destinada a pesquisas, civis ou militares. O custo de mandar um foguete tripulado à lua é de cêrca de um bilhão de dólares. O foguete que levou à órbita lunar os homens do Apolo 9, numa proeza sem par quanto aos riscos vencidos e à imaginação dos que criaram o sistema, pesava 3 000 toneladas, apenas 2 por cento das quais correspondiam à cápsula tripulada. Não falta quem indague: não será demais tudo isso, quando ainda nem se cogitou a fundo do programa que deve ser desempenhado pelos homens que descerão na lua? Outros acrescentarão, como é comum ouvir: todo êsse dinheiro, norte-americano ou russo, não poderia ter melhores aplicações num mundo roído de necessidades urgentes, onde metade dos leitos hospitalares nos grandes países são ocupados por doentes mentais, cujos males ainda são relativamente mal estudados, para não falar do câncer e das ameaças de fome?

Outros, considerando em particular os esforços soviéticos, que parecem agora concentrar-se no estabelecimento de uma estação espacial e no uso de técnicas mais baratas que a da condensação num mesmo foguete de todos os estágios para atingir a lua ou outro corpo celeste, perguntarão se essa preocupação com as estações de órbita baixa (os homens do Soyuz que foi montado no espaço em janeiro de 1969 disseram que de lá puderam ver a terra "boa e bonita") não representa ominosa possibilidade de fazer dessas estruturas, não plataformas de lançamento para o espaço, mas bases de bombardeio da terra.

Essas perguntas estarão sempre voltando, como um refrão. Há nelas algo de verdadeiro, quanto à concentração de imensos recursos que preterem necessidades mais urgentes, de lado a lado. Dir-se-á nesse ponto que a culpa cabe aos russos, que começaram a história com a subida do Sputnik I, que de outra coisa não terá servido senão de demonstração do progresso feito na Rússia em matéria de ciência e tecnologia. Daí por diante estabeleceu-se a corrida em termos que alguns dizem precipitados. Lembram, os que assim afirmam, que após uma série de retumbantes êxitos soviéticos (que certamente deixaram os norte-americanos meio aturdidos) o govêrno nos Estados Unidos teve de tomar decisão

drástica, de apressamento de seus planos astronáuticos, especialmente quando a surprêsa ante os êxitos russos espaciais vinha casar-se à humilhação da Baía dos Porcos. Era preciso retrucar valentemente, e assim teriam os Estados Unidos decidido colocar um homem na lua antes dos russos.

Seja lá como fôr, a investida contra o espaço seria conseqüência natural do progresso científico e tecnológico do homem. Assim como as quilhas das caravelas em tempos idos singraram mares desconhecidos na esperança de encontrar novas terras, e assim como desde eras ainda mais distantes o homem se habituou a contemplar o céu e estudá-lo, aperfeiçoando meios para melhor penetrá-lo, e se acostumou também a sonhar com viagens aos outros mundos, não deixaria êle de, uma vez reunidas em suas mãos as condições essenciais, ultrapassar a atmosfera e mostrar que a ciência que êle construíra por assim dizer à distância, por sua fôrça intelectual, era realmente exata e lhe permitia teleguiar espaçonaves, assim como enviá-las, tripuladas, a órbitas e alvos precisos.

A isso o mundo não escaparia, porque, como disse o pioneiro Goddard, "nada é mais forte do que uma idéia cujo tempo chegou". Assim como numa determinada época o homem não poderia ter fugido à tentação de realizar o sonho de Ícaro, dando origem à aviação, também não se deteria ante as fronteiras do espaço. *Plus ultra* é o seu lema, não um lema que lhe foi imposto ou ensinado, mas que resulta das fôrças mais profundas de sua própria natureza.

Desejável é que aquilo que infelizmente se estabeleceu como corrida, e talvez corrida envenenada por propósitos diferentes dos que levaram os antigos astrônomos a estudar o curso dos astros, deixe de ser corrida de fins políticos ou bélicos e se transforme num grande empreendimento comum, que una os homens e contribua para endeusar os valores espirituais e não a máquina. Se fôsse possível, como afirma Sarnoff, em citação numa das páginas dêste livro, varrer o analfabetismo do mundo em dez anos com auxílio dos satélites de comunicação, tôdas as críticas levantadas se terão dissipado.

J. Reis

PREFÁCIO

Êste livro surgiu de uma coleção de artigos que tenho escrito para a revista *Popular Science* desde janeiro de 1963. Quando *Popular Science* me convidou para escrever uma coluna mensal sôbre meu assunto favorito, aceitei o convite ao mesmo tempo como alívio e desafio. Alívio porque se eu tentasse responder sistemàticamente a tôdas as perguntas sôbre espaço que chegavam à minha mesa, teria ficado impossibilitado de realizar qualquer outro trabalho. Desafio porque sempre me apaixona o problema de reduzir um assunto complexo a termos que – espero – todos possam entender.

Os problemas de vôo espacial não são como os de geografia, ou de astronomia e física, nem química ou medicina. Êles encerram um pouquinho de tudo isso e mais ainda. É o que faz tão encantador o assunto.

Êsse aspecto calidoscópico do vôo espacial torna impossível "organizar" uma coluna mensal sôbre a matéria. Além do mais, nosso programa espacial é tão dinâmico e anda a passo tão rápido que a cada novo lançamento novas facêtas do calidoscópio entram no domínio público.

É por essa mesma razão que, quando Holt, Rineharth e Winston sugeriram que publicasse êste livro, não tentei reescrever cada coluna, convertendo-a num capítulo, para obter um livro bem concatenado. Limitei meus esforços editoriais à tarefa de atualizar as colunas. Assim procedendo, fiz a reconfortante descoberta

de não ser preciso corrigir qualquer lei da natureza que eu tivesse citado. Contudo, achei marcadamente aumentada nossa exata compreensão delas. Se o resultado estiver um pouco desconjuntado, pelo menos deverá estar mais colorido.

No momento em que êste livro vai à impressão, nosso programa de vôo espacial tripulado já teve a sua primeira tragédia. Gus Grisson, Ed White e Roger Chaffe deram suas vidas por uma causa pela qual, êles varias vêzes o afirmaram, valia a pena morrer. Mas encontraram a morte onde êles, ou quem quer que seja do programa Apolo, jamais esperavam — durante uma revisão de rotina do berço de lançamento. Como o veículo de lançamento estava sem combustível, no momento, a inspeção não fôra sequer qualificada como particularmente perigosa.

Pouco antes do acidente, com o feliz término do último vôo Gemini, a NASA acabava de completar a primeira fase do seu programa de vôo espacial tripulado. Durante essa primeira fase, 26 astronautas estiveram no espaço durante 1.900 horas, percorrendo aproximadamente 55 milhões de quilômetros — a distância entre a terra e o planêta Marte em sua maior aproximação. Êsse programa foi completado sem perda de vida e sem a menor lesão, tornando o vôo espacial, folgadamente, o mais seguro sistema de transporte jamais usado pelo homem. Não obstante, era óbvio que, cedo ou tarde, a estatística iria "pôr-se em dia" também com o nosso programa espacial.

A morte de nossos três astronautas do Apolo impõe a todos nós a obrigação de prosseguir nessa tarefa com tôda a determinação que pudermos reunir. Êles não esperariam menos, de nós.

WERNHER VON BRAUN
Diretor do Centro de Vôo Espacial George C. Marshall

NOTA DO TRADUTOR

Tratando êste livro de técnicas novas, só utilizadas em determinados países (no caso, especìficamente, os Estados Unidos), torna-se impossível traduzir certas expressões que constituem o jargão dos produtores e lançadores de foguetes. Por isso essas expressões foram traduzidas aproximadamente, e registrada no rodapé a forma original, para fins de identificação.
Os nomes de foguetes ou de seus estágios foram escritos ora em sua forma original, ora aportuguesadamente e com ortografia simplificada.
Embora não conste dos dicionários de nossa língua, usou-se nesta tradução a palavra *pressurizar* (e derivados) para traduzir o original "to pressurize" (e derivados) no sentido de submeter à pressão. O mesmo se fêz com *propelente,* para traduzir o inglês *propellant* usado no texto original.

ÍNDICE

FRONTEIRA DO ESPAÇO

I

LANÇAMENTO E ASCENSÃO

O Como e Por quê da Contagem Regressiva

Para a média dos espectadores de TV, o registrador de um grande foguete é um curioso brinquedo da era espacial. Uma seqüência de números relampagueando no painel e uma voz calculadamente fria entrosando-se no estranho ritual de contar segundos para trás. Òbviamente, invenção de um exibicionista, seu único propósito parece ser a criação de tensão e alvorôço na audiência. No momento em que o relógio afinal chega ao zero, a exibição culmina com o resplandescente espetáculo do lançamento.

Provàvelmente, poucos dos leigos conhecem o real propósito de um registrador ou como a contagem é executada. Em razão da sua enorme importância no êxito do disparo de um foguete, seus detalhes merecem ser bem compreendidos.

O propósito de um registrador é:

> Assegurar o máximo de segurança à tripulação de vôo (se houver), pessoal do solo e equipamento, enquanto a nave é preparada para vôo.
>
> Evitar desperdício de equipamentos críticos de vôo ou do solo ativando-os cedo demais antes do lançamento.

Possibilitar ao diretor de lançamento disparar no instante exato — correspondendo, digamos, a uma posição favorável de objetos celestes ou a requisitos para um encontro orbital.

Sincronizar os preparativos do lançamento com operações básicas, como a leitura de radar e câmaras de rastreamento.

Para foguetes operacionais militares, a resposta a uma ordem de disparo deve ser rápida. Se houver telemetria para obtenção de dados em vôo, será muito pouca. A contagem para trás será de apenas alguns minutos.

Ao contrário, um foguete complexo, de vários estágios, levando aparelhamento igualmente complexo e aparelhos de pesquisa altamente sensíveis, com tripulação humana ou não, requer contagem para trás que pode estender-se por muitas horas.

Se a contagem se faz de acôrdo com o plano, é bem rígida, mas oferece muita flexibilidade se surgirem dificuldades. Num plano de contagem regressiva bem preparado, é indispensável o estabelecimento de um processo bem delineado para "reciclagem da contagem".

Suponha-se que ocorra um desarranjo do equipamento depois de ligados muitos dos equipamentos do quadro de direção e de rádio — e que se calcule em duas horas o tempo de reparo ou substituição da parte defeituosa. É claro que uma boa parte do mecanismo do quadro já ativado tem de ser desligada de novo. Portanto, a contagem que, digamos, tenha chegado a T menos 7 minutos, pode ser reciclada de volta para "T menos 20 e suspensão". Isso significa que a contagem será reiniciada com T menos 20 minutos, assim que o trabalho de reparo tenha sido efetuado e que a parte substituída tenha sido satisfatòriamente examinada.

Também pode haver mera radiointerferência, temporária, claramente atribuída a um aeroplano que passa. Nesse caso, a contagem será suspensa "temporàriamente". Nenhum equipamento será desligado. A contagem prosseguirá a partir da leitura do relógio no ponto em que foi parado, tão logo a perturbação desapareça.

Um conjunto de processos de emergência, na contagem regressiva bem planificada, é a segurança das tripulações de vôo e do solo, e ainda da nave espacial, no caso de qualquer desarranjo sério. O próprio processo de emergência deve variar enquanto o relógio registrador trabalha. Pode sofrer variações drásticas en-

quanto perigosos combustíveis e oxidantes são bombeados para dentro dos tanques do foguete ou quando a estrutura de serviço é removida para longe da espaçonave, não havendo mais acesso a suas partes críticas. Alguns minutos mais tarde, quando a tripulação do solo é afastada para longe do berço de lançamento(*), a tripulação de vôo monopoliza tôda a precaução quanto à segurança do pessoal. No caso de um incêndio perigoso no foguete, por exemplo, a tripulação da espaçonave pode disparar o foguete de escape sem perigo para o pessoal do solo.

Nas fases finais da contagem regressiva, o texto dos processos de emergência, geralmente impresso nas costas de tôdas as páginas do livro de contagem, torna-se mais longo do que as próprias instruções para lançamento.

Os processos para lançamento do SA-7 do Cabo Kennedy, nosso sétimo foguete *Saturn I,* lançado em 18 de setembro de 1964 do Centro Espacial John F. Kennedy, na Flórida, ilustram as preparações de lançamento e a contagem regressiva de um grande foguete ainda no estágio de desenvolvimento.

Foi em Cabo Kennedy que os elementos dêsse foguete Saturno de dois estágios se encontraram pela primeira vez. O primeiro estágio, de oito motores, montado e testado contra estática no Centro de Vôo Espacial George C. Marshall da NASA, chegou ao Cabo de batelão. O segundo estágio, de seis motores movidos a hidrogênio-oxigênio, testado contra estática pelo seu fabricante, a Douglas Aircraft Company, chegara por ar. De Marshall havia chegado ainda a "unidade instrumental", um segmento em anel, portador de tôda a parte direcional do foguete e quase todo o seu equipamento de rádio. A "caldeira Apolo", caricatura da nave espacial Apolo, sem tripulação mas com aparelhos, chegara de avião, enviada pelo fabricante, a North American Aviation Inc. de Los Angeles. Partes adicionais haviam sido enviadas pelo Centro de Espaçonaves Tripuladas da NASA, em Houston.

Após a vistoria, mais uns dias de demora no hangar para "pôr em dia" (substituição de partes aperfeiçoadas chegadas por mensageiro especial) e uma última verificação de sistemas "individuais" e "integrados", os elementos do SA-7 seguiram para o berço de lançamento.

(*) No original *launch-pad* (almofada de lançamento) (N.R.)

O primeiro estágio foi erigido sôbre a plataforma. O segundo foi empilhado sôbre êle. A pequena mas complexa unidade instrumental foi ajuntada ao monte. Finalmente a nave espacial foi conjugada ao foguete. Seguiu-se uma cuidadosa vistoria do alinhamento.

O SA-7 estava então conjugado à "tôrre umbilical". Essa estrutura de aço, de grade aberta, mais alta do que o próprio foguete, mantém os "braços de vai-e-vem"(*) que ligam elétrica, pneumática e hidràulicamente o foguete com o seu suporte no solo. Êles desligam e se afastam do caminho quando o foguete começa a se elevar sôbre a plataforma.

Seguem-se agora vários dias de vistorias conjuntas da espaçonave e do equipamento de suporte, incluindo-se testes de abastecimento automático, dos elementos de rastreamento (faróis de rádio de bordo e estações terrestres), compatibilidade de lançamento espaçonave-veículo, e radiointerferência. Finalmente um "Teste Geral" mostrou que todo o complexo de vôo e ferragem da base estava pronto.

Seis horas antes do lançamento, marcada para as 10h00m, a contagem regressiva começou.

Primeiro veio a instalação ou ativação da "artilharia"(**) do veículo, — ou seja — tudo que pode ser disparado por um estopim pirotécnico.(***) No SA-7 o trabalho da turma de artilharia incluía a instalação de:

> O mecanismo de ignição do foguete de escape da espaçonave Apolo.
>
> Iniciadores de parafusos explosivos para libertar a tôrre de escape da espaçonave e separar o segundo estágio do primeiro.
>
> Iniciadores de "cargas de corte" explosivas para abrir as vigias de ventilação antes da ignição do segundo estágio.
>
> Cargas demolidoras, para destruir o veículo no ar em caso de vôo errático.

Êsse trabalho, com vistorias das ligações e circuitos, levou cêrca de três horas.

(*) "Swing arms", no original (N.R.)
(**) *Ordnance,* no original (N.R.)
(***) *Pyrotechnic fuse* (N.R.)

A T menos três horas encheu-se de oxigênio líquido o tanque do segundo estágio e logo a seguir o do primeiro estágio. (Os tanques de querosene do primeiro estágio já haviam sido enchidos dias antes).

A T menos duas horas e meia o alçapão da espaçonave Apolo foi fechado e retirada a armação de serviço. Meia hora mais tarde todo o pessoal foi afastado da plataforma e começou o abastecimento com hidrogênio líquido. Mais meia hora e foram acionados os mecanismos automáticos que compensam a evaporação do hidrogênio e oxigênio líquidos, mantendo os tanques bem cheios.

A T menos 45 minutos os tanques de combustível do primeiro estágio receberam pressão. Várias linhas para evacuação de nitrogênio foram ligadas para prevenir o acúmulo de misturas combustíveis de gases dentro da espaçonave, causadas por possíveis vazamentos.

A T menos 25 minutos foi ativado o sistema de contrôle que circunda a espaçonave. Cinco minutos mais tarde ligou-se todo o sistema eletrônico da espaçonave — telemetria, faróis de rádio, rastreadores, etc..

Quatro minutos antes do lançamento, todos os sistemas elétricos passaram a ser alimentados por energia interna da própria nave, desligada a fonte terrestre, e tôdas as linhas elétricas do sistema de "artilharia" foram armadas.

A T menos 2 minutos e 30 segundos uma "ordem de disparo" transferiu todos os encargos dos sistemas estabelecidos para essa operação a um mecanismo automático de seqüências determinadas. Dêsse ponto em diante o diretor de lançamento e seus assistentes limitaram-se a vigiar o mecanismo de seqüência, prontos para interromper-lhe o funcionamento ao menor sinal de perturbação. Além disso, o próprio mecanismo automático tem seus passos encadeados, de modo a tornar impossível iniciar qualquer operação da seqüência sem que a anterior haja sido corretamente executada.

A T menos zero, os oito motores do primeiro estágio foram acesos. Um segundo mais tarde os braços laterais umbilicais foram desligados e afastados. Os mecanismos de engate foram destravados a T menos 2 segundos, e o SA-7 estava a caminho.

Aí temos o por quê e o como da contagem regressiva. Como se nota, não é nenhum capricho da era espacial mas um processo cuidadosamente programado, extremamente sério, do qual dependem a segurança e o sucesso de um lançamento como o do enorme foguete Saturno.

A Vistoria Automática Dá Luz Verde aos Foguetes

A vistoria automática de um veículo espacial é um método para apressar a vistoria dos intrincados sistemas mecânicos e elétricos que compõem um foguete espacial de vários estágios, a espaçonave na sua ponta e o equipamento da base de lançamento, no solo.

Algum tempo atrás a vistoria dêsses sistemas era processo lento e mesmo maçante, pois devia ser realizada passo a passo. Com o aumento da complexidade dos veículos espaciais, foi crescendo também o número de pessoas empregadas nessa operação e o tempo necessário para os preparativos preliminares e para a própria contagem regressiva tornou-se cada vez maior.

A vistoria automática foi empregada pela primeira vez nos sistemas teleguiados lançados do solo e do ar. É extensamente empregada em todos os nossos veículos espaciais mais recentes, tripulados ou não.

A idéia básica fundamental da vistoria automática é simples. Suponhamos um hospital com quinhentos pacientes e apenas uma enfermeira. Se ela tivesse que atender a todos os pacientes visitando quinhentos quartos, alguns dos pacientes iriam morrer por falta de assistência imediata. Para solver êsse problema, suponha-se que êsses quinhentos pacientes sejam ligados a aparelhos medidores de temperatura, batidas de pulso, ritmo respiratório, temperatura da pele, emissão de ondas cerebrais, e assim por diante. Os impulsos elétricos de todos êsses aparelhos ligados aos pacientes são por sua vez levados a um computador eletrônico central.

A memória magnética dêsse computador armazenou dados meticulosos acêrca dos limites máximos e mínimos permitidos em todos os casos. Por exemplo, a temperatura entre 36,5 e 37,5 graus pode ser considerada normal para o paciente do Quarto 278, ao passo que a de 38,1 pode indicar que o paciente está sofrendo um processo febril. O computador dá o alarma avisando a enfer-

meira dessa irregularidade, e pode mesmo fornecer-lhe um aviso impresso onde estará escrito "Q — 278, T + 1,1 ou seja; o paciente do Quarto 278 tem uma temperatura 1,1 grau mais alta do que a temperatura média de 37°.

Um complexo veículo espacial como o Saturno V / Apolo consiste virtualmente em milhares de "pacientes", cujos pulsos e temperaturas devem ser contìnuamente verificados para que se tenha a certeza de não fazer o lançamento da nave com um subsistema doente.

Graças à rapidez do mecanismo automático é possível fazer uma vistoria completa antes de decidir sôbre o lançamento e repetir as verificações diversas vêzes durante a contagem regressiva.

A vistoria automática de um veículo espacial não se limita a simples amostragem de "leituras da situação". O método torna-se muito mais efetivo pela técnica de sujeitar o paciente a estímulos elétricos de "diagnóstico", estratègicamente aplicados, e à avaliação da resposta a êles.

A técnica pode ser exemplificada pelo pilôto automático, ou autopilôto, de foguete espacial.

Suponha-se que o foguete encontre uma turbulência atmosférica qualquer durante a sua passagem através do ar. Como um aeroplano atirado de um lado para outro em ar turbulento, o foguete começará por desviar-se um pouco, cedendo a um golpe de vento que tenta atirá-lo fora de seu curso. Mas uma deflexão apropriada da alavanca de comando pelo pilôto, ou pelo autopilôto, logo compensará a perturbação.

No autopilôto de um foguete, a deflexão inicial da direção manifestar-se-á pelo ângulo formado pelo eixo do foguete com a orientação espacial fixada num giroscópio. A deflexão produz um sinal elétrico correspondente. Através de complexo circuito de um computador de contrôle, o sinal irá finalmente acionar um conjunto de pistões operacionais que, por sua vez, levarão os motores do foguete, montados sôbre giradores, de volta à posição correta de vôo. É a própria deflexão que determina a correção a fazer.

Para a vistoria de todo êsse circuito de contrôle, o computador de verificação simplesmente injeta no computador de contrôle um impulso elétrico que imita o sinal de deflexão elétrica do giroscópio. Isso faz com que o computador de contrôle *pense* que haja uma deflexão angular do giroscópio.

Respondendo ao sinal de estímulo, o computador de contrôle montado no foguete processa a instrução e age sôbre os elementos que irão regular a direção dos motores.

O computador de verificação compara o estímulo e a resposta — o sinal-estímulo elétrico e a resultante deflexão dos motores, elètricamente indicada. Consulta a sua própria memória magnética, procurando possíveis desvios da resposta normal, e dêsse modo decide se os circuitos em exame estão "normais" ou "doentes".

Os modernos sistemas de vistoria automática podem realizar um número enorme de tais operações de contrôle em pouco tempo. Como a técnica digital aí empregada, todos os sinais de ida e volta entre a base terrestre de contrôle e o veículo espacial, consistem em pequenas explosões de fogo rápido ou simples impulsos elétricos.

É isso que torna relativamente fácil a realização de vistoria num circuito de rádio, mesmo após o lançamento, durante o vôo do foguete.

No programa de descida na lua, do Programa Saturno-Apolo, planejou-se inspecionar o terceiro estágio e o compartimento de direção do Saturno V, uma vez mais após haver sido êle colocado em sua órbita de alunagem. Quisemos com isso assegurar-nos de que tudo esteja em forma a bordo, antes de os astronautas reiniciarem êsse estágio e continuarem sua viagem para a Lua.

Merece especial menção uma característica de segurança relacionada à inspeção automática. Os grandes foguetes, de vários motores, não devem partir com impulso inadequado. Para evitar isso, o foguete é prêso à plataforma por um sistema de engates múltiplos, que só são destravados quando há certeza sôbre o funcionamento adequado dos motores do foguete.

A técnica de manter os foguetes presos ao solo durante o tempo necessário para acumular impulso foi tentada várias vêzes durante os primeiros anos de desenvolvimento dos teleguiados. Tornou-se processo estabelecido no advento dos foguetes multimotores, em face dos óbvios riscos de uma partida com um dos motores parado ou falhando.

No lançamento dos grandes foguetes de vários motores, como os Atlas e os Saturnos, pelo menos uma informação característica de funcionamento adequado dos motores é canalizada para a sala de contrôle.

A decisão de soltar o mecanismo de engates, comumente chamado de "segura rabo"(*), é tomada pelo diretor de lançamento no momento em que se evidencia que todos os motores estão "no verde". Nas modernas instalações de lançamento, o processo não raro é automático, isto é, o sinal ao segura-rabo é automàticamente ativado quando as leituras de todos os motores estejam dentro de limites antecipadamente especificados. Todos os motores serão desligados se após alguns poucos segundos essa condição não se tiver realizado.

Como os Foguetes São Dirigidos e Guiados

Os métodos pará dirigir os grandes foguetes durante o vôo com motor são todos baseados num princípio comum: é possível defletir o jato de escapamento do foguete com precisão.

Para que um foguete vôe em linha reta, a fôrça de seu impulso deve estar alinhada de tal modo que aponte para o centro de gravidade do veículo. Se a fôrça do impulso F está fora do alinhamento e passa a uma distância L do centro de gravidade, haverá um momento de torção(**) igual a FxL. Um grande foguete é dirigido pela transferência dêsse momento de torção para a esquerda ou a direita (contrôle do zigue-zague)(***) ou para cima e para baixo (contrôle de arfagem)(****) conforme a direção para a qual queremos volver.

A fôrça de impulso do foguête é sempre paralela à do fluxo de escapamento, mas age em sentido oposto. Em foguete impelido por combustível líquido, a câmara de combustão, com o tubo de escapamento, costuma girar de um lado para outro, como o motor de popa de um pequeno barco. As fôrças giratórias são proporcionadas por pistões hidráulicos operacionais, movidos a óleo e controlados por sinais elétricos do computador de contrôle do foguete.

Tipos mais antigos de foguete de combustível líquido eram muitas vêzes controlados por ventoinhas de jato. Havia geralmente quatro lemes relativamente pequenos, de grafite, tungstênio

(*) *"Tail grab"*. (N.R.)
(**) *Turning moment*. (N.R.)
(***) *Yaw*. (N.R.)
(****) *Pitch*. (N.R.)

ou qualquer outro material ablativo qualquer,(*****) isto é, cuja superfície exterior, destinada a gastar-se, possa ser queimada ou volatilizada – que eram imersos no jato principal e girados por dispositivos elétricos. As ventoinhas de jato não defletem todo o jato, mas apenas parte dêle. O efeito de uma ventoinha de jato pode ser comparado com o de um leme colocado na esteira da hélice de um grande bote com motor interno.

Os motores de combustível sólido, ao contrário dos de líquido, não possuem câmaras de impulso separadas. Num foguete sólido a estrutura aérea básica serve simultâneamente de tanque de combustível e câmara de impulso, e não seria prático fazer girar essa câmara. Por isso os engenheiros de foguetes sólidos desenvolveram tubos de escapamento orientáveis. Muitas vêzes um único foguete sólido descarrega através de quatro tubos de escapamento paralelos e giratórios, permitindo contrôle tridimensional completo, nas direções para esquerda ou direita (zigue-zague), para cima ou para baixo (arfagem)e rotacional (rolamento).(*)

Quaisquer que sejam os métodos empregados para gerar fôrças direcionais adequadas, os meios de contrôle devem ser dirigidos por sinais apropriados a manter o foguete na rota predeterminada, a despeito das perturbações causadas pelo vento, ou por pequenos desvios do funcionamento ou do pêso-padrão do foguete. Seria ideal um sistema direcional cujas ordens de comando para corrigir os desvios fôssem geradas de modo contínuo. Temos à nossa escolha dois sistemas direcionais fundamentalmente diversos: o contrôle remoto e a direção inercial.

As ordens de comando podem ser geradas pelo rastreamento do foguete com instrumentos óticos, radar ou rádio, e subseqüente comparação do curso *real* com o *prescrito*. Um comando de contrôle remoto, enviado pelo rádio, instrui o foguete em vôo a reduzir a zero qualquer diferença entre o "é" e o "deveria ser".

Êsses sistemas direcionais baseados no contrôle remoto por meio de rádio têm várias desvantagens básicas. Para começar, estão sujeitos tanto a interferências propositais como involuntárias, o que os torna particularmente vulneráveis em operações militares. Para operações espaciais uma desvantagem ainda mais

(*****) *Ablative*. Usou-se o português ablativo com sentido modificado. (N.R.)

(*) *Roll* (N.R.)

séria reside em ser impossível manter rádiocontato entre estações do solo e o foguete, exceto ao longo de uma linha de visão entre ambos. Por economia de consumo de combustível, um foguete orbital deve atingir a órbita ao longo de trajetória bastante rasa — e assim, quando acaba o combustível do último estágio do foguete, êste já está bem abaixo do horizonte do ponto de lançamento.

Em missões a grandes altitudes o foguete pode permanecer em uma ou várias "órbitas de estacionamento" e deve religar o motor num instante preciso para a conseqüente manobra que deverá colocá-lo na trajetória da Lua ou do planêta-alvo.O novo ponto orbital de partida pode ser sôbre a Austrália ou o Oceano Pacífico, ao passo que o lançamento é no Cabo Kennedy, Flórida. Nesse caso o rádio comando necessitaria de esquemas que significariam uma complicada rêde circundando tôda a terra.

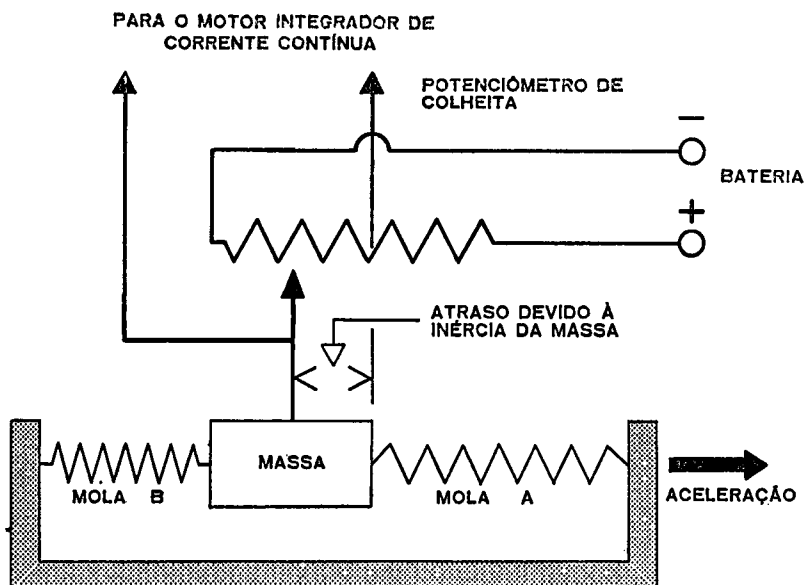
O sistema de direção *inercial* anula tôdas essas dificuldades de comunicação, gerando as ordens de comando *a bordo do foguete.* Tal sistema é inteiramente autocontido.

A idéia básica de um sistema diretivo inercial para foguete é medir as acelerações em três direções ortogonais (perpendiculares entre si), tais como esquerda-direita, para-cima-e-para-baixo e para-a-frente-e-para-trás. Essas três acelerações são então "integradas", operação que será esclarecida em próximo parágrafo, para obter-se assim a velocidade em cada direção. As três velocidades serão por sua vez integradas para dar o *deslocamento* ou distância percorrida em cada direção. Isso responde à sempre repetida pergunta do foguete: "Onde estou eu"?"

Conhecendo, graças a uma memória eletrônica, onde o foguete deveria estar a cada momento, o sistema direcional percebe imediatamente qualquer desvio, emitindo a ordem necessária para retomar o curso exato.

Assim, o núcleo de qualquer sistema de direção inercial é um conjunto de três acelerômetros que medem as três componentes da aceleração do foguete.

Aceleração é o que os pilotos de automóvel de corrida chamam "deslanchamento"(*). Ela se faz sentir como a fôrça que aperta o pilôto contra o encôsto do carro quando êle pisa no acelerador. Essa fôrça é o resultado da inércia do seu corpo, que resiste à

(*) *"Getaway"* no original. (N.R.)

súbita mudança de velocidade – quer o carro esteja parado ou passando de 60 para 90 quilômetros por hora, no ato de ultrapassar um caminhão carregado.

Há muitos tipos de acelerômetros, mas todos medem "a fôrça contra o encôsto" devido à fôrça de inércia inerente à massa. O mais simples é o acelerômetro mola-massa, que se vê no esbôço.

Se o foguete fôr acelerado na direção da flecha, a inércia da massa faz com que esta fique para trás, estirando a mola A e comprimindo a mola B. Uma resistência de contato variável por deslizamento, chamada "potenciômetro de colheita", produz uma voltagem que corresponde à aceleração em cada instante.

O velocímetro de nosso carro indica claramente que a velocidade está aumentando, sempre que sentimos aquela pressão contra o encôsto. Naturalmente o velocímetro está conjugado às rodas, e na realidade o que marca é a velocidade com que elas estão girando. Mas nós poderíamos construir outro tipo de velocímetro, a partir de nosso acelerômetro de mola.

Suponhamos que, com a voltagem proveniente do potenciômetro de colheita do acelerômetro, acionemos um pequeno motor de

corrente contínua. O motor ficará girando enquanto houver aceleração. Se esta termina, êle pára.

A velocidade de giro do motor corresponde à voltagem fornecida pelo potenciômetro de colheita, que por sua vez corresponde à aceleração. Mas o número total de rotações do motor num dado período de tempo corresponde à velocidade atingida como resultado da aceleração durante êsse mesmo período.

Assim, o que devemos fazer para obter nosso velocímetro movido a acelerômetro é apenas conjugar uma agulha indicadora ao núcleo do pequeno motor — naturalmente só em altas rotações. Nosso novo velocímetro é o protótipo do que o pessoal do serviço direcional chama de "acelerômetro integrador".

Poderíamos ainda ligar um segundo potenciômetro ao eixo da agulha de nosso novo instrumento e acionar um segundo motor elétrico com a voltagem de saída. Uma vez que essa voltagem corresponde à velocidade do carro, o segundo motor elétrico irá girar com velocidade correspondente à do carro; e o número total de rotações corresponderá à distância percorrida. Uma agulha ligada ao segundo motor, em altas rotações outra vez, mostrará a quilometragem percorrida — a mesma que o instrumento do carro marca. (Marcação efetuada pela contagem do número de voltas das rodas do automóvel). Com o segundo motor elétrico realizamos a segunda "integração" — fizemos a integração da velocidade no tempo percorrido, encontrando a distância correspondente.

Falta muita coisa ainda para construir um sistema direcional prático para foguetes. Em geral o planejador defronta com duas espécies principais de problemas:

1. As variações de posição do foguete durante o vôo. No solo êle fica de pé. Em órbita estará deitado e voando velozmente. Portanto, de vertical para horizontal. Além disso, ao atravessar a atmosfera é sacudido pela turbulência e pelos deslocamentos do vento, variando temporàriamente a sua posição.

Nossos três acelerômetros ortogonais deverão portanto ser montados numa plataforma estabilizada giroscòpicamente. Por mais que o foguete possa girar e ondular, os três acelerômetros terão uma orientação fixa no espaço. Para satisfazer aos requisitos de alta precisão dos sistemas direcionais,

por inércia dos foguetes espaciais, a plataforma deve manter sua posição angular dentro de uma fração de grau durante várias horas.

2. Qualquer massa sujeita a movimentos forçados sofre atrito. No nosso acelerômetro de mola, por exemplo, a massa inerte é forçada por molas cujos movimentos de esticar e encolher envolvem atrito. (Entortando um pedaço de arame várias vêzes ràpidamente, podemos sentir o calor gerado pelo atrito. Também, a menos que o potenciômetro opere no vácuo, haverá atrito com o ar. A colheita de voltagem pelo potenciômetro é outra fonte de atrito.

Todo êsse atrito reduz a precisão do sistema, como conjunto. Não é exagêro afirmar que o sucesso de um moderno sistema direcional por inércia é o resultado de uma luta sem tréguas contra o atrito. Muitos métodos têm sido tentados nessa luta: há os "rolamentos flutuantes", onde a massa suspensa bóia num fluido de igual densidade; os "rolamentos a gás", onde a massa suspensa cavalga um travesseiro de ar ou nitrogênio; os suportes eletrostáticos e mesmo magnéticos, que utilizam os estranhos efeitos da supercondutividade elétrica a temperaturas extremamente baixas.

A precisão do sistema melhora também pelo aumento das fôrças criadas pela aceleração. Giro-acelerômetros, que utilizam o fenômeno da "precessão" giroscópica, mostraram-se superiores aos simples acelerômetros de mola e massa.

Maior precisão se obteve ainda realizando as operações de integração não com motores elétricos, nos quais o atrito é uma praga, mas com computadores eletrônicos digitais, livres dela.

Os atuais sistemas direcionais por inércia podem colocar um satélite em órbita com uma precisão de injeção de poucos decímetros por segundo quanto a velocidade, e de uma fração de quilômetro quanto à altitude.

Minúsculos Computadores Dirigem os Mais Poderosos Foguetes

O espantoso progresso na miniaturização do aparelhamento eletrônico é sem dúvida um dos mais importantes fatôres do rá-

pido avanço da tecnologia dos foguetes e de vôo espacial dos últimos anos.

Naturalmente os vôos espaciais tripulados não se teriam tornado possíveis sem os grandes progressos realizados na propulsão de foguetes, novos materiais, novos métodos de planejamento de estruturas, sistemas hidráulicos avançados, giroscópios de alta precisão, e em outros campos ainda. Mas, sem a recente contribuição da física do estado sólido e a resultante tecnologia da microeletrônica, a maioria das nossas realizações no espaço em vôos, tripulados ou não, talvez não tivesse ocorrido.

As ilustrações aqui incluídas contam, melhor do que as palavras, até onde foi a arte de miniaturizar componentes eletrônicos. Da válvula eletrônica ao transistor de um rádiotransistor — e daí por sua vez ao quase microscópico transistor "cisco" ou "artifício unidade — lógica". Muitos dêsses transistores-cisco AUL são empregados nos circuitos microeletrônicos do computador direcional que a IBM desenvolveu para o foguete Saturno, que deverá ir à Lua.

As ilustrações mostram o módulo típico AUL, de pequena fração de centímetro quadrado, no qual a IBM incorpora os transistores-cisco. São os quadrados adaptados às junções do circuito ou sôbre a superfície superior do módulo. As partes escuras, vistas sòmente sôbre a superfície da base, são resistores formados por um processo de impressão com tela e depois reforçados até a resistência desejada. Trinta e cinco dêsses módulos compõem uma "página", que pode ser ligada por meio de tomada, e o sistema direcional emprega 150 dessas páginas. A economia em pêso e tamanho de um computador eletrônico baseado nesses princípios é assombrosa. O computador direcional do Saturno V, em conjunto com seu adaptador de dados (que funciona como um elo entre o computador e todos os outros elementos do sistema direcional) tem 80.000 componentes. Pode realizar 9.600 operações por segundo. Sua memória do tipo núcleo-magnético tem capacidade de armazenagem de 460.000 elementos de memória. No entanto as duas caixas pesam apenas 120 quilos e ocupam, juntas, um volume de 156 litros. Igualmente assombroso, as duas unidades utilizam um total de apenas 438 watts, cêrca de um quarto a mais do que utiliza um ferro comum de passar.

Contudo, a economia em pêso, volume e requisitos de potencial talvez sejam superados em importância pela sua tremenda

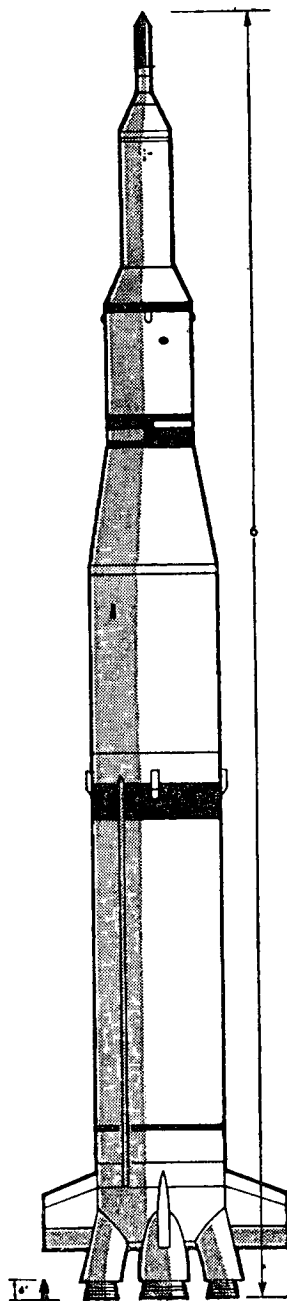
segurança, que é uma propriedade inerente aos computadores de estado sólido. O computador do Saturno V é construído com especificação de segurança de não menos que 25.000 horas de "tempo médio entre falhas", e tudo faz crer que isso ainda será superado.

Um artifício que muito contribui para essa fenomenal segurança é o intenso uso da "redundância modular tríplice" em conexão com os chamados "circuitos de regra de maioria de votos". Na elaboração do desenho para esse computador a IBM identificou sete secções funcionais de vital importância, que poderiam causar erros catastróficos para o veículo espacial — e onde, portanto, não se poderiam admitir falhas do computador. Foi então que se idealizou para o computador uma disposição tal, que todos os problemas surgidos em qualquer dessas sete secções funcionais críticas sejam distribuídos simultâneamente a conjuntos de três módulos lógicos, exatamente iguais mas independentes, montados em paralelo.

As respostas obtidas de soluções diferentes são encaminhadas aos circuitos de maioria de votos, que aceitam "A" como resultado certo desde que dois dos três módulos dêem resposta "A". Em outras palavras, se um dos três módulos paralelos apresenta resposta diferente, será vencido por maioria de votos de dois contra um. A probabilidade de dois módulos cometerem o mesmo erro é remotíssima.

A combinação de velocidade, capacidade de memória e segurança do computador direcional do Saturno V e seu adaptador de dados habilitam essas duas unidades a realizar um número de funções que, há apenas uns poucos anos, teria parecido fantástico. São elas, por exemplo, que respondem pela assim chamada "condução de adaptação à trajetória".

Condução de adaptação à trajetória significa que, à medida que o grande foguete vai subindo para sua órbita, o computador vai contìnuamente comparando o percurso e a trajetória ótima ao longo da qual a entrada em órbita pode ser obtida com mínimo consumo de combustível. E automàticamente vai corrigindo o percurso, levando-o a seguir a trajetória ótima. Por exemplo, se um dos cinco motores do segundo estágio do foguete parar sùbitamente, o computador direcional do foguete percebe imediatamente a perda de aceleração e determina o caminho ótimo a ser seguido com a potência dos quatro motores restantes.

O gigantesco foguete Saturno V comparado com o tamanho de um homem.

Além disso, as duas unidades ajudam na inspeção pré-lançamento e também nas vistorias em órbitas estacionárias. Durante o período de pré-lançamento o computador pode realizar um autoteste e uma simulada e completa missão de lançamento do veículo. Nas órbitas de estacionamento êle é empregado não só para reverificar o sistema de condução-e-contrôle, mas também o sistema de propulsão do terceiro estágio do Saturno V. Dêsse modo ajuda a assegurar que todo o veículo espacial, após entrada em órbita, esteja ainda em perfeitas condições — de modo que os astronautas do Apolo possam prosseguir sua viagem para a Lua.

Os Astronautas "Voarão" em Foguetes Retropropelidos?*

Na realidade não há razão óbvia pela qual os foguetes retropropelidos não possam ser comandados com contrôle manual. Naturalmente, os requisitos de extrema precisão das missões orbitais e outros vôos espaciais tornam imprescindível que o foguete siga trajetória precisamente determinada. O vôo manual, portanto, não dispensa absolutamente a necessidade de um sistema direcional de precisão. O que acontece é que o pilôto fica simplesmente encarregado de executar os sinais direcionais. Isso, contudo, pode oferecer vantagens bem determinadas, como veremos.

Atualmente, todos os foguetes são levados ao longo de suas rotas por meio de radiocomando ou de comando por inércia. Em ambos os casos os sinais são produzidos a bordo do foguete. Um diz "para cima" ou "para baixo" e o outro diz "esquerda" ou "direita". Em todos os foguetes espaciais que voaram até hoje, tripulados ou não, êsses sinais foram ligados diretamente ao autopilôto. Pela deflexão de lemes de jato, ou de tubos de escapamento ou de todo o conjunto dos motores do foguete, o vôo tem sido sempre controlado pelo autopilôto.

Para pilotar um foguete retropropelido, o astronauta poderia muito bem chamar a si a função do autopilôto. Bastaria que os sinais direcionais, em vez de serem ligados diretamente ao comando automático, fôssem dispostos no painel de instrumentos em forma de sinais visíveis, facilitando a tarefa do pilôto.

(*) No original, *boosters.* (N.R.)

Isso poderia ser feito na forma convencional do ILS (sistema de aterrissagem instrumental) usado por aeroplanos em suas descidas com instrumento em aeródromos, em condições de teto baixo e pequena visibilidade.

O indicador do ILS tem duas agulhas cruzadas. Uma delas, a "localizadora", gira para a esquerda e para a direita. A outra, a agulha "escorrega-ladeira", move-se para cima e para baixo. (Ver o esbôço).

Para estar na linha da pista, o pilôto deve manter centrada a agulha vertical (localizadora). Para descer, de modo a tocar no solo no comêço da pista, sem bater num edifício alto e próximo, deve centrar a agulha horizontal (escorrega-ladeira).

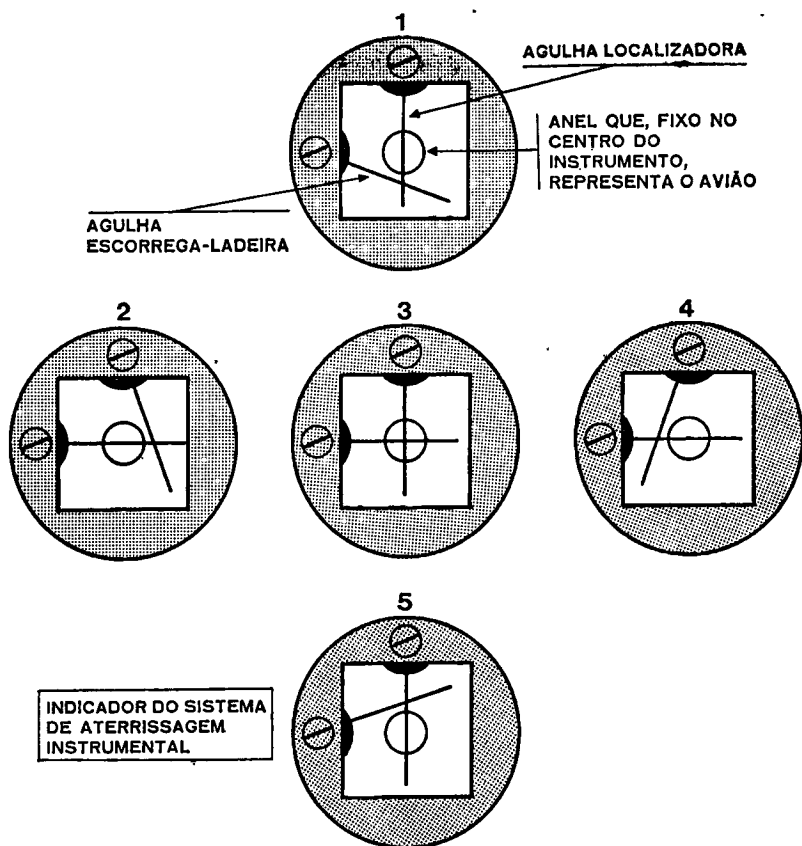
O problema básico de manter na trajetória prescrita um foguete retropropelido é exatamente o mesmo da aterrissagem com instrumentos. A única diferença é que o termo "sobe-ladeira" deve substituir o "escorrega-ladeira".

As possíveis vantagens da pilotagem manual dos foguetes retropropelidos poderão talvez ser melhor determinadas se examinarmos novamente os processos testados pelo tempo, empregados em aviação.

Não há nenhuma razão técnica pela qual os sinais de saída de um localizador e de um escorrega-ladeira de avião não possam ser levados diretamente ao pilôto automático. Em muitos aviões isso é feito pela simples ligação de um interruptor.

Ponderável, contudo, é que nenhuma aerovia do mundo chegou a autorizar o emprêgo de instrumentação automática de aterrissagem com teto baixo, ligada todo o tempo ao pilôto automático. A razão é muito simples. Afastando-se do comando, o pilôto perde aquêle toque de intimidade com a situação, indispensável para uma ação corretiva no caso de súbita falha dos instrumentos.

Uma falha pode não ser crítica quando o aeroplano está a vários milhares de quilômetros do solo, quando há muito tempo para um trabalho de reparo. Mas se o autopilôto provoca uma deflexão violenta, embicando para o solo a 240 por hora ao sair de um teto de apenas 60 metros de visibilidade, não haverá muito tempo para o capitão fazer a transição de automático para manual.

O mesmo pode acontecer, e tem acontecido, no caso de foguetes de retropropulsão, mas durante a subida. Suponha-se que, subindo a alta velocidade através das camadas mais densas da atmosfera, um servo-mecanismo defeituoso produza deflexão exa-

INDICAÇÕES DA POSIÇÃO DE UM AVIÃO RELATIVAMENTE À POSIÇÃO CORRETA NO CAMINHO DE APROXIMAÇÃO DA PISTA DE POUSO:
(1) Muito alto (2) Muito para a esquerda
(3) No caminho certo (4) Muito para a direita (5) Muito baixo

gerada num dos motores traseiros do foguete. Quantos segundos restarão antes que as fôrças aerodinâmicas despedacem o foguete e o transformem numa bola de fogo? Quando deve o astronauta tomar a decisão drástica de abortar o vôo, separando a sua espaçonave do motor defeituoso e ativando o foguete de fuga?

Não fazendo parte do "elo" de comando, êle poderá também perder segundos preciosos na transição. Êsse fato poderá por outro lado levar à necessidade de montagem de um "abortador auto-

mático" — o que, não seria preciso dizer, é uma idéia extremamente mal vista entre os astronaûtas. E não é para menos; é como se dissessem ao pilôto: "O aparelho está ligado de modo que o seu assento poderá ser expelido a qualquer momento que uma pequena caixa prêta decida que você está em perigo".

Por outro lado, o contrôle manual nos retropropelidos pode também ter certas desvantagens. Um dos argumentos contra êle é que um foguete espacial de vários estágios mudaria contìnuamente sua resposta a uma alavanca de comando.

Primeiro, as fôrças aerodinâmicas vão de zero (no chão) até a um máximo (geralmente pouco além de um minuto depois do lançamento), e de novo ao zero (no vácuo espacial). Segundo, como a maior parte do pêso à saída é devido ao combustível, à medida que a velocidade vai aumentando o foguete vai perdendo considerável massa. Terceiro, a rejeição ocasional de um estágio e a ativação do seguinte também deverão afetar a resposta da alavanca de contrôle. Naturalmente, tôdas essas variações podem ser fàcilmente compensadas por meios eletrônicos. Mas então surge a questão de esclarecer o que realmente se lucrou incluindo o astronauta no elo de contrôle, se ainda dependemos tanto da instrumentação automática.

Um argumento a favor do contrôle manual, que os testes simulados demonstraram conclusivamente, é que as cargas estruturais sofridas por um foguete durante a penetração nas camadas de alta turbulência ou variações abruptas de velocidade do vento, podem ser substancialmente reduzidas por vôo manual. Isto está de acôrdo com o fato já bem estabelecido, de que um aeroplano pilotado através de regiões de turbulência voa muito mais suavemente e é muito menos submetido a esforços estruturais do que se estiver "canalizado" por um autopilôto.

Contudo, com a nossa muito limitada experiência prática de vôo espacial pilotado, seria provàvelmente prematuro tentar agora estabelecer o resultado da contenda entre os contrôles automático e manual dos foguetes espaciais.

É provável que a questão do contrôle manual dos retropropelidos volte a baila várias vêzes no futuro. Com o aumento da densidade de vôos espaciais, conseqüente ao aumento de nossas

operações, é forçoso que o problema da recuperação e reemprêgo dos retropropelidos vá aos poucos exigindo atenção cada vez maior. E, é claro, quando pusermos um pilôto num foguete para trazê-lo de volta, deveremos estar preparados para dizer claramente se êle vai ou não pilotá-lo também na subida.

Por que os Foguetes Têm Barbatanas

As barbatanas de um foguete têm a mesma utilidade que as penas da base de uma flecha. Elas conferem a estabilidade dinâmica de vôo através da atmosfera, alinhando o chamado Centro de Pressão (CP), atrás do Centro de Gravidade (CG).

Façamos uma experiência com uma flecha. Tirando a ponta e as penas da cauda, usemos o arco para arremessar essa simples vara. Ela rodopiará ao acaso. Recoloquemos então a ponta e atiremos de novo. A flecha já não gira tanto. Prendemos de novo as penas da cauda, e a flecha voa reto. Examinemos agora essa variação de comportamento.

O Centro de Gravidade da vareta está no seu centro geométrico (como é fácil verificar equilibrando-a sôbre uma régua ou faca). Enquanto a vareta voar reto (Caso 1, no esbôço), as fôrças de retardo devidas ao empuxo do ar passarão pelo Centro de Gravidade. Como não há ação de alavanca entre a fôrça e o C.G., não pode haver momento de estabilização ou instabilização (efeito de torção).

Suponhamos agora que, por qualquer razão — vento ou rajada lateral — ocorra um pequeníssimo desvio do alinhamento entre a fôrça aerodinâmica e a linha central da vareta (Caso 2 no esbôço). A corrente de ar atinge agora a vareta num "ângulo de ataque", α (alfa). No esbôço, a fôrça fictícia que empurra a vareta num ponto representa o efeito combinado de tôdas as fôrças diminutas sôbre tôda a superfície da vareta. O Centro de Pressão é, por definição, o ponto em que essa fôrça fictícia intercepta a linha central da vareta — e no caso 2 êle está à frente do C.G. Atuando sôbre um braço de alavanca *l*, ela dá origem a um momento que tende a *aumentar* o ângulo de ataque. Essa condição é de *instabilidade aerodinâmica.*

Por que o Centro de Pressão está *à frente* do centro geométrico? A pressão do ar é maior na área frontal, a extremidade

sem ponta da vareta, onde o ar pràticamente pára antes de ser desviado para os lados. (Isso é óbvio no caso de ângulo de ataque nulo, mas ainda é válido no caso de um ângulo de ataque moderado.) *O empuxo da fôrça em aríete* criado por essa área frontal excede de muito o empuxo do atrito do ar ao longo do lado da vareta. Assim, a maior parte do empuxo é aplicada na parte dianteira da vareta. Quando recolocamos a ponta (caso 3, no esbôço), a pesada carga leva para frente o Centro de Gravidade — mas sem alcançar ainda o Centro de Pressão. Dois fatôres são responsáveis pela diminuição da instabilidade da vareta: Encurtamos o braço de alavanca entre o C.P. e o C.G., reduzindo o momento de instabilidade e, pela adição de pêso à ponta da vareta, aumentamos a inércia da sua massa e, assim, sua resistência aos movimentos rotacionais abruptos.

A flecha voa reto quando recolocamos as penas da cauda (caso 4, no esbôço), porque, tão logo se desenvolva um ângulo de ataque, as penas em asa geram fôrças aerodinâmicas de sustentação que, atuando sôbre um braço de alavanca *l*, tendem *a diminuir* o ângulo de ataque. Essa condição é de *estabilidade dinâmica.*

Nos foguetes, as barbatanas são empregadas porque em muitos casos é desejável dar-lhes estabilidade aerodinâmica.

Alguns foquetes têm barbatanas, outros não. Isso depende de ser importante ou não, em cada caso, melhorar a estabilidade aerodinâmica do foguete.

Hoje em dia existem sistemas de pilotagem automática cuja resposta tem rapidez suficiente para dirigir foguetes através da atmosfera, não importa qual seja a sua instabilidade aerodinâmica. Barbatanas representam pêso e resistência, e podem ser fàcilmente desalinhadas se não se acham muito bem protegidas durante as manobras preliminares com o foguete.

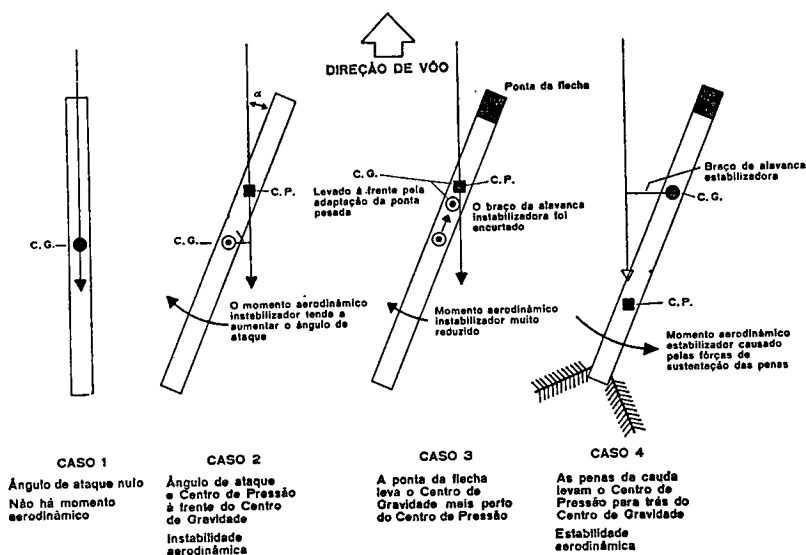
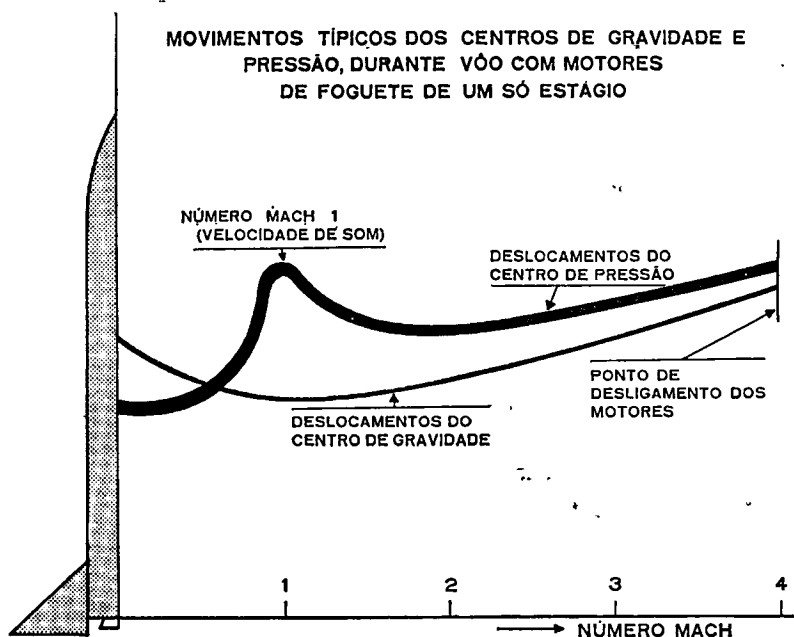
Portanto, todos os nossos mísseis militares modernos, de longo alcance, não têm barbatanas — os Minutemen e Polaris, e seus predecessores Atlas, Titan, Jupiter e Thor.

Dirigir foguetes mísseis, aerodinâmicamente instáveis, através da atmosfera, não é fácil tarefa. Ao tempo dos primeiros mísseis, isso simplesmente não podia ser feito. É por essa razão que os V-2, Corporal, Viking, Sergeant e Redstone ostentavam barbatanas.

O problema não era só a falta de autopilotos adequados ao contrôle da instabilidade aerodinâmica. Ainda mais delicado era o problema de estabelecer o critério operacional exato, ao qual o autopilôto deveria ser sincronizado.

Um foguete típico de longo alcance parte da velocidade zero e de uma altitude muito próxima do nível do mar.

Num minuto, mais ou menos, êle alcança Mach 1, a velocidade do som; e em mais um minuto está singrando o espaço sem ar, entre Mach 5 e 15. Durante todo êsse tempo o Centro de Pressão do foguete desloca-se um bom pedaço para cima e para baixo, pois, em qualquer instante, é muito sensível ao número Mach. (Ver o esbôço). Simultâneamente, a massa do foguete vai diminuindo ràpidamente – e com ela diminui o importantíssimo "momento de inércia de massa", a capacidade da massa do foguete de opor-se aos movimentos rotacionais abruptos.

Assim, é preciso muito engenho para idear um autopilôto de foguete capaz de encarregar-se a contento de tôdas essas condições em rápida variação. Na verdade isso só é possível pelo ajustamento repetido, em vôo, dos "ajustamentos de avanço" da sincronização do autopilôto. Naturalmente essa técnica rebuscada não existia na época dos primeiros vôos. Hoje é coisa de rotina.

Alguns foguetes são ainda construídos com barbatanas, pois elas podem oferecer grandes vantagens em duas aplicações particulares.

Uma dessas aplicações refere-se aos foguetes contra mísseis e naves aéreas em geral. Ao contrário do que acontece com um foguete, cujo propósito usual é levar uma frente de combate de um ponto A até um ponto estacionário B, bem determinado, o foguete antifoguete não sabe, no instante da partida, aonde irá encontrar a sua frente de combate.

Como o alvo pode realizar manobras evasivas, o foguete interceptador deve variar contìnuamente o seu vôo, adaptando-o aos movimentos do alvo de acôrdo com as últimas informações do radar.

Já se sugeriu empregar "ajustes de adaptação à trajetória", pelo autopilôto, mas os engenheiros de mísseis antiaéreos ainda preferem as barbatanas para simplificar seus complexos problemas de contrôle.

Os foguetes antiaéreos costumam ter barbatanas relativamente grandes nos estágios retropropelidos. Durante a fase de retropropulsão, êsses foguetes voam sem qualquer direção ou contrôle ativos — dependendo apenas de sua estabilidade de flecha e apontados na direção geral de interceptação, com auxílio dos lançadores do solo, que podem ser girados em azímute e em elevação. O sistema direcional do foguete só entra em ação após a rejeição dos retropropulsores.

Também nos *foguetes tripulados,* as barbatanas oferecem vantagem bem definida. Uma vez que o curso — geralmente em órbita — é predeterminado e assim ideal para as variações programadas de ajustamentos do avanço, poderiam parecer desnecessárias as barbatanas. O problema dos foguetes tripulados pertence todavia à área das de medidas de emergência — ou, mais especìficamente, do que chamamos de "processos abortivos".

Suponha-se que um grande veículo de lançamento, como por exemplo o Saturno V, sofra séria falha no seu autopilôto, na parte mais melindrosa de sua trajetória ascendente através da atmosfera — o período de "pressão de alta estagnação", quando o foguete, em grande velocidade, encontra as mais violentas fôrças aerodinâmicas. Uma falha num girador pode lançar um dos motores de retropropulsão em direção completamente errada, enquanto uma falha elétrica adicional pode impedir que os outros motores contrabalancem o inesperado momento de torção.(*)

Num caso como êsse, se uma alta instabilidade aerodinâmica intrínseca favorecesse o aumento rápido do ângulo de ataque, a sobrecarga estrutural poderia romper o foguete antes que os astronautas no Módulo de Comando Apolo disparassem o foguete de fuga, pondo-se a salutar distância da bola de fogo em formação no céu.

É nesse sentido, que diz respeito à segurança da tripulação, que as barbatanas são valiosas. No Saturno V as barbatanas não são destinadas a dar estabilidade aerodinâmica perfeita sob quaisquer condições — isso exigiria barbatanas de tamanho excessivo — mas são suficientes para reduzir a instabilidade aerodinâmica, assegurando aos astronautas a possibilidade de "abortar" com se-

(*) Torção, aqui e em passagens semelhantes, significa mudança da direção, volta ou virada. (N.R.)

gurança, qualquer que seja a perturbação técnica que ocorra no veículo espacial.

Nossa intenção é reduzir a "razão de rotação" — a velocidade com que o aerodinâmicamente instável Saturno V, vítima de uma falha do autopilôto, entraria em ângulo de ataque ao qual sua estrutura poderia não resistir. Também se poderia dizer que o propósito das barbatanas é prolongar o período de graça que faculta aos astronautas fugir de uma explosão iminente provocada por falha estrutural.

Foguetes Líquidos contra Foguetes Sólidos

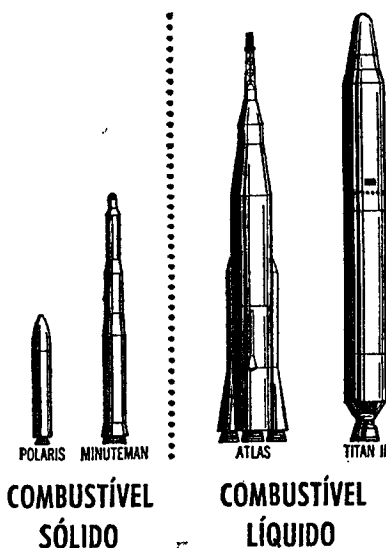
Uma comparação entre os méritos dos combustíveis líquidos e sólidos depende inteiramente da aplicação. Assim como um motor a gasolina tem vantagens e desvantagens em comparação com um motor diesel, o foguete a combustível líquido é superior ao foguete cujos motores consomem combustível sólido, em algumas aplicações e inferior em outras. Há mais de meio século se debate acaloradamente acêrca das qualidades e defeitos dos dois tipos de motores a pistão, e é bem provável que daqui a cinqüenta anos ainda se usem tanto foguetes de combustível sólido quanto líquido.

As vantagens do foguete a combustível líquido — do qual os Atlas e Saturnos são exemplos — repousam em maior desempenho, simplicidade de desligamento ou extinção, capacidade de religamento e o fato de prestar-se prontamente a várias e importantes características de contrôle. Por exemplo, o impulso de um foguete a combustível líquido pode ser variado à vontade, diminuindo-se o fluxo de combustível, e o foguete pode ser fàcilmente dirigido no vôo pelo giro dos motores relativamente pequenos.

As vantagens dos foguetes a combustível sólido, como os *Minutemen* e *Polaris*, repousa em sua simplicidade. Êles não precisam ser abastecidos até o momento do lançamento. Não há necessidade de sistemas de pressão ou bombas para transferir os combustíveis dos tanques para a câmara de combustão, pois a cápsula do foguete combina ambas as funções. A simplificação resultante e a conseqüente aceleração dos preparativos de lançamento tornam os foguetes a combustível sólido especialmente in-

teressantes nas operações militares, onde uma resposta imediata pode ser vital.

Os chineses, que têm a seu crédito as primeiras demonstrações de foguetes, no século XIII, provàvelmente empregaram a pólvora preta. Essa antiquíssima mistura de carvão, enxôfre e salitre foi fielmente empregada em todos os foguetes de guerra e de sinalização para salvamento de navios até o fim da Primeira Guerra Mundial. Só em 1918, o norte-americano Robert H. Goddard tentou, pela primeira vez, usar *pólvora sem fumaça* em foguetes, e só após a Segunda Guerra Mundial é que a indústria química apareceu com combustíveis compostos de alta energia, que possibilitaram aos foguetes sólidos entrar no campo dos mísseis balísticos de longo alcance — até então dominados sem contestação pelos foguetes a líquido, que com isso foram pràticamente empurrados para o campo, ainda mais exigente, do espaço exterior.

Os combustíveis compostos consistem principalmente em um aglutinante mais ou menos viscoso, no qual se incluem agentes oxidantes em forma de cristais salinos. Uma mistura típica pode conter oitenta por cento de seu pêso dêsses cristais e ainda conservar extraordinário poder de plasticidade.

Há vários tipos de aglutinantes para combustível, que diferem em preço, qualidades em baixa e alta temperatura, possibilidades de armazenamento e assim por diante. Qualidade comum a todos é o nome comprido. Há aglutinantes de vinilpoliéster, poliuretano e cloreto de polivinila, só para citar alguns. Os agentes oxidantes, para não ficar atrás, ostentam etiquetas como perclorato de amônio, nitrato de amônio e perclorato de potássio. Para aumentar a temperatura de combustão e a eficiência do combustível, às vêzes também se adiciona alumínio em pó. Finalmente, os combustíveis compostos geralmente contêm pequena porcentagem de aditivos que atuam como catalisadores de combustão, estabilizadores químicos, supressores de faísca, ou para suprir algumas deficiências físicas.

Provàvelmente a regra mais importante para a elaboração de um combustível sólido para foguete é a Lei de Piobert, que estabelece que a frente da chama sempre avança através do combustível sólido, consumindo-o em direção normal (perpendicular) a sua superfície. Assim, se enchermos um tubo com combustível e acendermos uma das pontas o combustível será consumido até o fim, como um cigarro.

Suponha-se que se faça um furo ao longo da linha central até o fim do "grão"(*). É êsse o nome que a turma dos foguetes sólidos dá ao combustível carregado no "estojo"(**). Se lançarmos então um jato de fogo ao longo dêsse túnel, a chama se propagará em direção radial, alcançando a parede em tôrno, no preciso instante em que todo o combustível estiver consumido. Com o aumento do diâmetro do túnel cresce também a superfície de combustão. Em conseqüência, o gás de combustão produzido por segundo e o impulso por êle gerado serão mínimos no momento de ignição e máximos no momento final.

Em geral um foguete de combustível sólido é especialmente desenhado para o tipo de desempenho que mais provàvelmente se desejará. Isso significa que há uma certa relação desejada entre o impulso e o tempo. Por exemplo, pode haver necessidade de impulso máximo à saída, quando o foguete está pesado, e decrescente à medida que o pêso vai diminuindo. Para satisfazer a essas especificações inventaram-se inúmeras formas de secções retas de

---

(*) *Grain*". (N.R.)
(**) *"Case"*. (N.R.)

Como a ponta explosiva é simultâneamente libertada, essa técnica na verdade afasta o foguete extinto do cone frontal no momento em que se obtém a velocidade desejada.

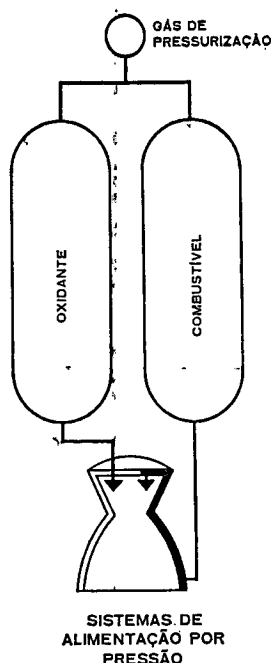
As cápsulas dos foguetes a combustível sólido geralmente são feitas de aço superior, titânio ou tecido de fibra de vidro.

Foguete híbrido é o cruzamento de um foguete a combustível sólido e um a combustível líquido, pois usa um componente sólido e outro líquido. Geralmente é um combustível sólido contra o qual se pulveriza um combustível líquido. Outras vêzes a combinação é inversa.

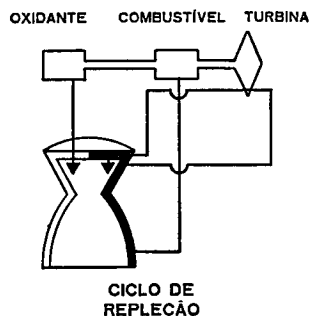
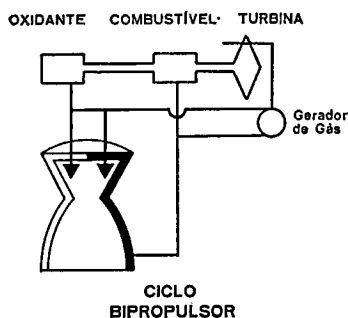
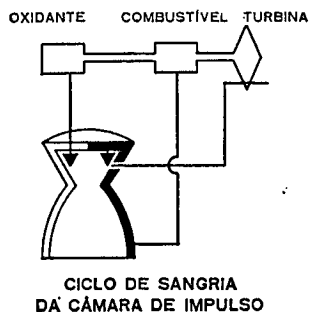
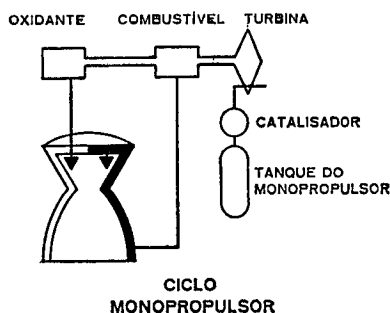
Os foguetes híbridos oferecem algumas vantagens potenciais. Seus tubos de escapamento podem ser resfriados pelo componente líquido, o que pode significar substancial economia de pêso em comparação com os maciços tubos de escapamento não resfriados dos foguetes a combustível sólido de queima prolongada. Além disso, o impulso de um foguete híbrido é fàcilmente controlável pela variação da quantidade de combustível líquido por uma válvula "estranguladora". Com essa mesma válvula, o foguete pode ser completamente desligado e novamente pôsto a funcionar — sendo esta última uma façanha além do alcance de qualquer foguete sólido.

Alguns componentes líquidos adequados para foguetes híbridos — combustíveis ou oxidantes — podem também ser empregados como monopropulsores. (Ver Capítulo 8). Durante o abastecimento, efetuado através de um "berço catalítico" adequado, êles se decompõem em um gás moderadamente aquecido. Essa característica pode ser aproveitada em numerosos objetivos auxiliares: pressurização dos tanques, contrôle pneumático da pressão, tubos de escapamento para contrôle da altitude e impulso de vernier para as manobras direcionais de precisão.

Apesar de todo o seu potencial, os foguetes híbridos não têm sido muito empregados. Muitos projetistas julgam que êles apenas partilham das desvantagens dos foguetes a combustível sólido de baixa energia e dos de combustível líquido altamente complexos, não sendo assim muito atraentes. Outros acreditam que haverá aplicações nas quais os foguetes híbridos prevalecerão.

SISTEMAS DE
ALIMENTAÇÃO POR
PRESSÃO

A maioria dos modernos motores de foguetes a líquido usa hoje geradores de gás *bipropelentes*. Combustível e oxidante são canalizados para fora das linhas de descarga de alta pressão, de suas respectivas bombas e levados a um gerador de gás. Êste é uma fornalha onde os propelentes queimam, geralmente numa mistura de proporção relativamente rica em combustível, para manter a temperatura do gás suficientemente baixa para as lâminas das turbinas.

No motor Rocketdyne J-2 de 100 toneladas de impulso — o motor a hidrogênio líquido — oxigênio líquido montado no segundo e terceiro estágios do foguete à Lua, o Saturno V — o gás de combustão rico de hidrogênio, que sai do gerador de gás, vai primeiro impelir a turbina da bomba de hidrogênio líquido. Ainda bem quente e sob pressão moderada, o gás vai por um conduto até o lado oposto do motor, onde em nova expansão impele a turbina da bomba de oxigênio líquido.

Após passar por várias camadas de um material permeável, o gás resfriado é finalmente admitido ao tubo de escapamento geral do foguete, onde aumenta o impulso.

Naturalmente, apenas uma diminuta fração do combustível e do oxidante é levada para dentro do gerador de gás. A maior parte de ambos flui para a câmara de combustão principal.

Em vez de produzir o gás para as turbinas num gerador separado, já se tentou repetidamente sangrar o gás diretamente da câmara de combustão principal. Embora êsse *ciclo de sangria da câmara de impulso* pareça de início a solução óbvia, há duas dificuldades principais. Primeiro, o gás retirado da câmara principal após a complementação do processo de combustão é quente demais para ser admitido diretamente às turbinas. Êle deve ser canalizado num ponto onde a combustão é ainda incompleta, ou resfriado pela injeção de água ou um combustível adicional. Segundo, é muito difícil controlar o nível de potência da turbina, com precisão suficiente, porque a energia térmica do gás de im-

Como os Motores de Foguetes a Combustível Líquido São Abastecidos

Há dois métodos bàsicamente diferentes de injetar o combustível em um motor de foguete de propulsor líquido: alimentação por pressão ou por bombeamento.

A alimentação por pressão é simples, mas relativamente pesada. O bombeamento oferece substancial vantagem em relação a pêso, mas ao preço de maior complexidade.

No sistema de alimentação por pressão os tanques de combustível e oxidante são pressurizados a um nível suficiente para levar o combustível diretamente à câmara de combustão.

Para que haja eficiência, a pressão da câmara de combustão deve ser bem elevada — e, é claro, o alimentador de pressão deve ter pressão mais alta ainda. Assim, os foguetes alimentados a pressão requerem tanques de combustíveis fortes e pesados.

A principal vantagem da alimentação por pressão é a simplicidade. As desvantagens inerentes ao pêso se tornam menos perceptíveis em alguns foguetes como, por exemplo, os mísseis de defesa aérea. Em razão de sua alta aceleração e de suas altas cargas aerodinâmicas causadas em manobras dentro da atmosfera, êsses foguetes estão sujeitos a cargas estruturais elevadas. Assim, os tanques que formam a sua estrutura já são naturalmente fortes.

O gás de pressurização para um foguete alimentado a pressão pode ser simplesmente levado em receptáculos a alta pressão. Por economia de pêso, alguns foguetes levam o gás de pressurização em forma de líquido. O líquido pode ser convertido em gás por aquecimento, num permutador de calor, ou por decomposição química.

Neste último caso o líquido deve ser "monopropulsor". É um produto químico que se decompõe em seus componentes e simultâneamente liberta calor ao contato com um catalisador adequado.

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ou água oxigenada, quando forçado através de uma camada de permanganato de cálcio, o catalisador, decompõe-se em vapor (H_2O) e oxigênio (O_2). Outro monopropulsor, a hidrazina (N_2H_4), igualmente líquida à temperatura ambiente de laboratório, em contato com um catalisador decompõe-se em mistura de gases de nitrogênio quente (N_2) e hidrogênio (H_2).

Os combustíveis sólidos raras vêzes são empregados para gerar gás de pressurização para os foguetes a líquido alimentados por pressão, pois todos êles produzem grandes quantidades de partículas sólidas no gás, o que pode entupir válvulas e reguladores, além da possibilidade de corrosão. A injeção de líquidos nos tanques para reagirem quìmicamente com o combustível ou oxidante, produzindo gás de pressurização não é igualmente adotada em razão dos perigos inerentes e de vários efeitos secundários indesejáveis.

O desenho mostra o princípio de foguete a líquido alimentado por pressão.

Em razão da substancial vantagem em pêso, pràticamente todos os foguetes a combustível líquido de alta eficiência empregam a alimentação por bomba. Isso permite o emprêgo de receptáculos finos e leves em combinação com motores a alta pressão muito eficientes.

Há sempre duas bombas separadas — uma para o combustível e outra para o oxidante. As mais comuns são as bombas centrífugas, não muito diferentes, bàsicamente, das bombas de água usadas nos aparelhos contra incêndio. Para o hidrogênio líquido, porém, geralmente se usam bombas axiais multilaminadas. Seus rotores parecem um pouco com os compressores dos motores turbo-jatos.

As bombas para combustível de todos os foguetes a combustível líquido são movidas por turbinas a gás. Algumas vêzes elas são montadas num eixo comum, ficando a turbina entre elas ou num extremo.

Algumas vêzes a turbina de alta r.p.m. é ligada às bombas de rotação mais lenta por meio de um sistema de engrenagens. Em alguns motores de foguetes as bombas são separadas, cada qual com sua própria turbina.

As turbinas são sempre movidas por gases quentes a alta pressão através de suas lâminas. Mas há muitos métodos diferentes, ideados para gerar o gás propulsor.

Os primeiros foguetes a líquidos, como os V-2, Viking e Redstone, empregavam fonte de gás monopropulsor e levavam um tanque separado de peróxido de hidrogênio. Dêsse tanque, relativamente pequeno, o peróxido era bombeado para dentro de uma câmara de decomposição catalítica. O vapor e o oxigênio que saíam dessa câmara, impeliam a turbina.

pulso depende diretamente das condições locais do gás da câmara, junto ao ponto de sangria. Apesar disso os projetistas de motores de foguete acreditam que ambos os problemas poderão ser solvidos por uma localização e distribuição estratégica de pontos de sangria.

O chamado ciclo de *repleção* é o que fornece o melhor sistema de movimentação de turbina sob o ponto de vista das vantagens operacionais e de economia em geral, desde que não se eleve muito a pressão de combustão da câmara principal. É o ciclo adotado no motor Pratt & Whitney RL-10 a hidrogênio-oxigênio, seis dos quais são montados no segundo estágio do foguete Saturno I.

No ciclo de repleção, o hidrogênio líquido é bombeado através dos resfriadores da câmara de combustão, onde colhe do metal calor suficiente para evaporar-se. Em expansão, é levado à turbina para movimentá-la. Após a expansão, é admitido à câmara de combustão, queimando com o oxigênio já bombeado separadamente.

Os foguetes antigos que usavam um gerador de gás monopropelente eram ligados pela ignição de um pequeno fluxo de combustível e oxidante, levado por gravidade para dentro da câmara de combustão. A seguir era aberta a válvula do peróxido de hidrogênio, e o fluxo de monopropelente sob pressão ia para o berço de catalisador. O vapor, saindo do gerador de gás, impelia a turbina. E o foguete partia.

Os motores de foguetes movidos a geradores de gás bipropelentes são geralmente ligados por meio de "giradores" pirotécnicos. Um pequeno "foguete" a combustível sólido expele um jato de fogo simultâneamente para dentro das lâminas da turbina e do gerador de gás. A ignição do combustível e do oxidante que entram no gerador de gás é garantida pela chama em rotação. Depois a chama do girador se apaga e o bombeamento continua.

Os motores a ciclo de repleção, queimando hidrogênio líquido, são os de partida mais fácil. Basta abrir uma válvula, permitindo que o hidrogênio líquido flua, por gravidade, para dentro do resfriador aquecido. Com a absorção do calor e conseqüente expansão, o gás começa a girar a turbo-bomba. Com isso aumenta a razão de fluxo do hidrogênio líquido para dentro do resfriador, o que, por sua vez, aumenta o fluxo de gás através da turbina.

O ciclo de repleção aproveita-se assim, engenhosamente, das propriedades dos combustíveis "criogênicos", de difícil manuseio (líquidos de gaseificação a baixa temperatura, como o hidrogênio). Basta a diferença entre a temperatura ambiente do metal do motor e do combustível frio para dar partida ao motor.

Nos motores a bomba, a interrupção da alimentação é fácil. Basta conter a r. p. m. da turbo-bomba.

Com geradores de gás monopropelentes simplesmente se interrompe o fluxo de monopropelente para o berço de catalisador. A resultante queda de r.p.m. da turbina reduz a razão de fluxo de combustível e oxidante e, com isso, a pressão de combustão e o impulso do motor.

Num sistema de bipropelente o mesmo efeito é obtido pelo estrangulamento do fluxo de ambos os propelentes para o interior do gerador de gás.

Os motores a repleção de hidrogênio-oxigênio podem ser contidos pelo aumento da porcentagem de hidrogênio que, ao sair dos resfriadores, vá diretamente à câmara de impulso sem passar pela turbina. Com isso, é claro, diminui o número de r.p.m.

O contrôle da relação entre os componentes da mistura é um problema de precisão. Principalmente com os foguetes a líquido, altamente eficazes. É claro que tôdas as vantagens obtidas pela construção ultraleve seriam fàcilmente perdidas se o contrôle da *razão de mistura*(*) fôsse tão grosseiro que, acabado o combustível, restassem dentro do tanque milhares de litros de oxigênio inútil.

Os grandes foguetes modernos a combustível líquido levam "sondas de capacidade", inseridas nos tanques de combustível e oxidante, que indicam a todo instante quanto resta em cada tanque. Essa informação vai a um computador simples que controla a saída ou o desvio dos sistemas de combustível e de oxidante. A válvula de saída se encarrega de fazer com que os dois tanques se esgotem ao mesmo tempo. Graças a êsses "sistemas de utilização de propulsores", é possível variar a mistura de alimentação dos motores dos foguetes durante o vôo — o que permite aproveitar ao máximo a eficiência do foguete de acôrdo com as suas características de construção.

(*) *Mixture ratio*: Significa a proporção entre os componentes. (N.R.)

Há duas razões pelas quais o hidrogênio líquido constitui um dos melhores combustíveis para foguetes. Uma é a alta energia térmica libertada pela sua combustão. A outra, igualmente importante mas menos óbvia, é o baixo pêso molecular do hidrogênio e o seu produto de combustão, o vapor de água.

A velocidade da descarga de um motor de foguete é a melhor medida da sua economia de combustível. Cada molécula de gás expelida pelo tubo de escapamento de um motor de foguete pode ser comparada a uma pequena bala disparada por uma arma. Quanto mais alta a velocidade na bôca, maior será o coice sôbre o cano da arma. Como o impulso de um motor de foguete é a soma de todos os coices correspondentes a milhões de projéteis moleculares e o gás de descarga é produzido pela queima de combustível, segue-se que, quanto maior a velocidade de descarga com uma dada quantidade de combustível, maior será o impulso do motor do foguete.

O tubo de escapamento de um motor de foguete pode ser considerado como um mecanismo que orienta o movimento multidirecional das moléculas de gás da câmara de combustão numa direção predominante. A velocidade de descarga é, portanto, diretamente relacionada à velocidade com que os gases revoluteiam na câmara imediatamente após a combustão, mas antes de entrar no tubo de escapamento.

Ora, uma lei fundamental da física estabelece que, *a uma dada temperatura, a energia cinética média de revolução das moléculas de dois gases quaisquer deve ser a mesma.* A energia cinética, ou energia do movimento de um corpo, depende de dois fatores: pêso (ou massa) e velocidade. Isso significa que, se dois corpos, um leve e outro pesado, têm a mesma energia cinética, o mais leve há de ter muito maior velocidade.

Naturalmente, para que se obtenha uma alta temperatura de combustão é necessária uma alta energia de combustão. A combustão do hidrogênio é uma das mais poderosas reações químicas conhecidas. Mas, como vimos, um produto de combustão leve, com reduzido pêso molecular médio, é igualmente importante. O hidrogênio, com pêso molecular 2, é o gás mais leve que existe. Mesmo o seu produto de combustão, o vapor de água, resultante da reação entre dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, tem pêso molecular de apenas 18, o que é ainda baixo em comparação com os produtos de combustão de outros combustí-

veis. Além disso os motores de foguetes que utilizam hidrogênio líquido como combustível e oxigênio líquido como oxidante, têm seu máximo de eficiência com mistura rica em combustível. Isso significa que há em tôrno mais átomos de hidrogênio do que átomos de oxigênio disponíveis, com os quais possam combinar-se. O jato de escape de um dêsses motores de foguete é, portanto, composto de uma mistura de vapor de água e hidrogênio não queimado, cujo pêso molecular se acha entre 18 e 2. É por causa dessas vantagens que os construtores de foguetes confiam tanto no hidrogênio líquido.

O Cinema Revela Como os Retropropelidos Se Comportam em Vôo

Na manhã de 29 de janeiro de 1964 nosso quinto Saturno I, partindo do Berço 37-B em Cabo Kennedy, Flórida, partiu roncando e entrou em órbita. Menos de uma hora depois, a primeira das oito cápsulas com máquinas cinematográficas, ejetadas do primeiro estágio, era recuperada, após sua queima, a cêrca de 900 quilômetros além.

Mergulhadores atirados de pára-quedas inflaram seus barcos de borracha sôbre as águas agitadas e conseguiram içar para bordo cinco cápsulas. Duas outras que não puderam ser recuperadas antes de escurecer, dados os fortes ventos e ondas de mais de três metros, foram salvas por um navio de recuperação guiado por faróis do avião.

Quando foi lançado o sétimo Saturno I, em 18 de setembro de 1964, o furacão Gladys levantava ondas de quase cinco metros no local de queda da cápsula e então foram canceladas tôdas as tentativas de recuperá-la. Contudo, a 9 de novembro, duas das cápsulas cinematográficas foram descobertas na praia. Uma na ilha de San Salvador e a outra na praia de Eleuthera. Uma terceira cápsula foi recuperada em abril de 65 por um nadador, perto de San Salvador. A despeito do rude tratamento infligido pelas águas, a maior parte dos filmes recuperados ainda forneceu úteis informações.

A cooperação das cápsulas cinematográficas no desenvolvimento dos foguetes de lançamento é inapreciável, pois realmente permite aos construtores observar o que acontece em vôo. Elas dão

conta do comportamento do foguete muito melhor do que outros meios, como por exemplo a telemetria.

A cápsula cinematográfica ejetável do Saturno foi aperfeiçoada e submetida a exaustivas provas pelos cientistas e engenheiros do Centro de Vôo Espacial Marshall, da NASA, em cooperação com o Centro Tecnológico Cook de Chicago. A cápsula pesa cêrca de 30 quilos, com diâmetro de 20 centímetros e 65 de comprimento. Há dois tipos diferentes.

A cápsula Modêlo A serve para "visão direta". Ela filma o que acontece à sua frente, na posição em que foi colocada antes da ejeção. A sua objetiva é protegida contra o aquecimento aerodinâmico por uma janela de quartzo.

Quatro dessas câmaras de visão direta são montadas à frente do primeiro estágio para fotografar a ignição do segundo estágio e o seu impulso ao separar-se do primeiro.

A cápsula Modêlo B é de "visão indireta". A objetiva olha para dentro de um "feixe de ótica-de-fibra" — que funciona como se fôsse uma mangueira metálica flexível que permite que as imagens óticas contornem esquinas. A parte oposta do feixe de ótica-de-fibra pode ser adaptada, por exemplo, à parte superior do tanque de oxigênio líquido. A câmara olha então para o tanque pressurizado como se a gente estivesse olhando para dentro de um receptáculo cuja tampa se houvesse removido. Uma lâmpada incandescente especial fornece a luz necessária à filmagem dentro do tanque.

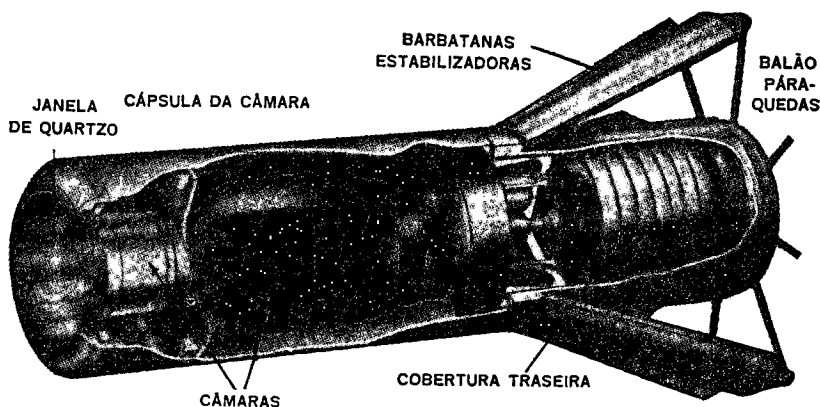
Em essência, o feixe de ótica-de-fibra consiste em vários milhares de fibras de vidro, mais ou menos da grossura de um fio comum, de tricô. O corpo da fibra é transparente e sua superfície espelhada. Um raio de luz, penetrando a fibra por uma das extremidades, será então refletido ao longo de seu comprimento, e aparecerá do outro lado, por mais que a fibra tenha sido dobrada ou torcida. Assim, se uma imagem ótica é captada num visor formado pelas extremidades fronteiras de milhares de fibras óticas paralelas, a mesma imagem aparecerá num visor formado pelas extremidades traseiras, correspondentemente orientadas.

As cápsulas são expelidas quando a velocidade do Saturno I é de aproximadamente 9.000 quilômetros por hora (cêrca de 2.500 metros por segundo). Isso é realizado pela expulsão da cápsula através de um tubo, por meio de hidrogênio gasoso sob pressão.

Logo à saída do tubo de ejeção abrem-se umas abas em forma de asas, com molas, que dão à cápsula cinematográfica a necessária estabilização aerodinâmica.

Cada cápsula contém um "parabalão" – esfera inflável com apêndice em forma de saia, como pára-quedas. A uma altitude de 4.000 metros uma chave ligada a um aneróide(*) faz inflar a bexiga do parabalão com hidrogênio pressurizado. A pressão da bexiga em expansão empurra alavancas, destacando tôda a parte traseira (incluindo as barbatanas estabilizadoras) e deixando só a cápsula prêsa ao parabalão.

Continuando a inflar-se, o parabalão alcança o diâmetro máximo de 45 centímetros. A resistência combinada do balão e na saia diminui a rapidez de queda da cápsula até uma velocidade final de pouco mais de 100 quilômetros por hora (cêrca de 30 metros por segundo), velocidade com que a cápsula atinge a água.

Mas, por que arriscar cápsulas tão valiosas? A resposta é dada pelas dificuldades fundamentais com que defronta o construtor de foguetes.

Corte da cápsula-câmara recuperável, de 70 centímetros de comprimento. Êste modêlo de visão direta tem janela de quartzo para proteger a câmara contra o calor do vôo em alta velocidade através da atmosfera.

(*) Tipo de barômetro, instrumento que mede a pressão atmosférica (N.R.)

O produtor de aviões pode tomar conhecimento da resposta do produto de sua concepção ao comando e comportamento em vôo, através do pilôto de provas. E, salvo acidente sério, os vôos de provas podem ser repetidos até que o pilôto de provas e o fabricante estejam satisfeitos com os resultados.

O produtor de veículos espaciais encontra-se em posição bem menos cômoda. Seus grandes foguetes não podem ser trazidos de volta à base. Quando seus veículos ainda estão no estágio experimental êle deve dotá-lo de olhos e ouvidos e cuidar da aparelhagem, para poder avaliar, no solo, o que êsses olhos e ouvidos vêem e ouvem durante o vôo.

O modo tradicional de obter dados em vôo tem sido a telemetria. Mas a transmissão pelo rádio de informações como pressões, temperaturas e voltagens tem suas limitações.

Durante o desenvolvimento do veículo espacial Saturno I, por exemplo, precisávamos saber como se desenrolava a ignição dos motores do segundo estágio e como o primeiro, após a combustão, era separado do segundo. Precisávamos saber, também, se os tanques de oxigênio do primeiro estágio estavam ou não bem imaginados para possibilitar aproveitamento total do combustível. Haveria um redemoinho, como êsses que a gente vê na banheira, permitindo a entrada de gás de pressão no conduto para o oxigênio líquido, antes do tempo — antes que o nível do líquido se aproximasse no fundo do tanque? A telemetria não é adequada a resolver essas perguntas. São necessários olhos artificiais para ver o que acontece na separação de estágios — e se há formação de redemoinho nesse tanque de OXL.

Em alguns casos os projetistas de foguetes empregaram com sucesso pequenas câmaras de televisão — mas estas também têm suas limitações. Durante o desenvolvimento da separação de estágios, pequenos "retrofoguetes" sólidos retardam o primeiro estágio, extinto. Os motores do segundo estágio são acesos enquanto pequenos "foguetes de folga", também sólidos, que controlam a movimentação da parte vazia do tanque — mantêm os propelentes líquidos no fundo dos tanques. As pequenas explosões dessas operações interferem na telemetria ou nas comunicações de televisão entre o foguete e o solo justamente nessa fase vital do vôo.

Nessas ocasiões é que as cápsulas cinematográficas provam seu valor e justificam o esfôrço despendido para encontrá-las e pescá-las do mar.

A própria câmara concorre para ajudar na recuperação, graças a vários dispositivos destinados à sua localização:

Um pequeno radiofarol colocado na parte superior do parabalão habilita aviões e navios a aproximarem-se da cápsula em flutuação.

Um farol de luz muito intensa, piscando vinte vêzes por minuto, destina-se à localização durante a noite.

Uma anilina fosforescente pinta a água circundante — ajuda provada com sucesso em recuperações diurnas.

O modêlo vistoso do parabalão. Os gomos alternadamente brancos e de um alaranjado que durante o dia é resplandecente, desenhados acima da linha d'água, dão alta visibilidade. O hemisfério inferior é púrpura escuro, para não atrair peixes daninhos.

Um repelente de tubarões, o acetato de cobre, também é automàticamente espalhado na água em volta. Serve para evitar que o parabalão e o mergulhador que fôr buscá-lo acabem no estômago do tubarão.

O Que Acontece A Um Foguete de Retropropulsão?

A ascensão de um foguete, vista à noite com seu escapamento em chamas, é um verdadeiro espetáculo. A estrêla-cadente artificial oferece aos observadores uma oportunidade rara de estudar os fenômenos de reentrada a alta velocidade, novamente importantes nesta era espacial.

O que acontece ao foguete retropropelido já extinto é uma história interessante e ilustrativa. Há várias versões, em razão das velocidades extremamente variáveis em que se dá a reentrada dos foguetes.

Que eu saiba, o foguete balístico Redstone, do exército norte-americano e com alcance de 300 quilômetros, foi o primeiro míssil que realizou a separação, em vôo, do propulsor e da frente explosiva. Em mísseis de pequeno alcance isso seria uma complicação desnecessária além do risco de deixar cair o estágio extinto sôbre

tropas aliadas. Mesmo os foguetes balísticos alemães de 300 quilômetros de alcance, os V-2, não previam essa separação; e a simplificação resultante era obtida ao preço do emprêgo forçado de um casco muito mais pesado para todo o foguete, indispensável para suportar o enorme aumento de pressão e calor durante a reentrada.

O retropropulsor é expulso no fim da fase de retropropulsão e conseqüente início da fase de vôo sem motor em trajetória balística.

No momento em que cessa a fôrça de impulso, um foguete Redstone destinado ao seu alcance máximo estará voando a uma velocidade de cêrca de 5.500 quilômetros por hora, com ângulo de elevação de cêrca de 40 graus e a 4.000 metros de altitude.

Dentro dessas condições a tração aerodinâmica sôbre o retropropulsor extinto e já destacado é muito pequena, e em cêrca de dez segundos mais de ascensão torna-se totalmente desprezível. O foguete extinto vai girando lentamente – dependendo de sua falta de simetria e do impulso de separação – enquanto segue a ponta do foguete até o cimo da trajetória em parábola, a 100 quilômetros de altitude, quando se inicia a queda ao solo.

A uns trinta quilômetros antes do alvo, a ponta explosiva do Redstone e o retropropulsor que vêm rolando a umas dezenas de metros atrás, entram nas camadas mais densas da atmosfera. A cabeça explosiva continua apontando para a frente graças a um sistema de contrôle por meio de tubos de escapamento e jatos. De linhas aerodinâmicas, com estabilidade de flecha, a pesada ponta é guiada com precisão até o alvo por meio do seu sistema de comando inercial que atua sôbre um conjunto de lemes móveis colocados na parte posterior.

Em contraste, o retropropulsor vazio, leve e girando ao acaso, perde velocidade ràpidamente. Em menos de um minuto após o comêço da entrada na atmosfera, sua velocidade para a frente cai a zero e numa razão de queda bem abaixo da velocidade do som. Girando, cabeça ora à frente, ora atrás, evita assim aquecimento aerodinâmico excessivo em qualquer ponto em particular, e a pressão remanescente nos tanques de combustível impede o seu esfacelamento pelas consideráveis fôrças aerodinâmicas. Não sendo suficientemente fraco para romper-se, o foguete continua caindo em direção à terra.

A velocidade do foguete extinto no momento do impacto – na água, em lançamentos de alcance próprio dos mísseis – pode variar entre 220 a 440 quilômetros por hora (cêrca de 60 a 120 metros por segundo). Não se pode prever como êle baterá na água – de lado ou de frente – pois isso depende do acaso pois êle não assume posição constante, na queda.

Já se encontraram foguetes extintos que ficaram boiando no oceano após a queda. Embora os tanques não tivessem fendas, que os fariam afundar, as partes principais estavam tão danificadas que impossível era cogitar de reparo.

Não seria muito difícil abrir um pára-quedas antes do impacto com o solo. E já foi demonstrado, por testes de submersão em água do mar, que é possível o reaproveitamento de elementos como os motores de foguetes. Mesmo assim, não é provável que os retropropelidos recuperados do mar respondam um dia aos nossos planos de emprêgo de retropropulsores econômicos e re-usáveis.

Recuperação e repolimento de retropropelidos caídos no mar seriam emprêsa dispendiosa e complicada. Além do mais, a confiança que se poderia esperar de um foguete recuperado ao mar seria sempre menor do que a que pode inspirar um foguete recém-fabricado, que passou por estreita malha de contrôle de qualidade. Confiança igual só poderão inspirar os futuros retropropelidos que voarão de volta à base por sua própria fôrça. (ver capítulo 2, seção Breve... Barcas para o Espaço.) Para foguetes mísseis de alcance maior do que o Redstone, a velocidade inicial deverá ser maior ainda. Em conseqüência, a velocidade de reentrada será igualmente maior. Um míssil balístico de alcance intermediário (IRBM) como os Thor ou Jupiter de 1.500 milhas marítimas (2.800 quilômetros) do exército americano tem velocidade de reentrada de cêrca de 16.000 quilômetros por hora (4.500 metros por segundo).

A tais velocidades a separação do retropropulsor extinto não é mais um artifício opcional empregado para aumentar o alcance do míssil, mas uma imposição. Para sobreviver à incandescente reentrada em alta velocidade, a cabeça explosiva precisa ser dotada de um escudo especial contra o calor. A extensão dessa proteção aos reservatórios iria torná-lo proibitivamente pesado, além de pràticamente inútil, pois não contribuiria em nada para o efeito sôbre o alvo. Assim, os retropulsores dos Thor e Júpiter

eram separados no momento de sua extinção e abandonados à volatilização ao atravessar a atmosfera.

Vejamos um pouco mais sôbre os fenômenos de reentrada. Em 1958 realizou-se um estudo especial sôbre o caminho de descida dos Júpiter IRBM, que estavam ainda em fase experimental. A uns oitenta quilômetros antes do ponto de impacto foi postado um destróier ou caça-torpedeiros equipado com máquina fotográfica de objetiva grande-angular, câmara cinematográfica e espectrógrafos.

Visível por cêrca de vinte e quatro segundos, a incandescência meteórica iluminou perceptìvelmente o navio distante. A combustão do alumínio dos tanques produziu, como se esperava, um traço brilhante no céu noturno — muitas vêzes mais luminoso do que a mais brilhante estrêla e, também, muito mais brilhante do que o traço deixado pela cabeça explosiva que procedia o foguete extinto.

Na manhã seguinte, contudo, apesar de tôda essa exibição celeste, alguns objetos do foguete, os cilindros de hidrogênio comprimido e pequenas partes elétricas foram vistos boiando no mar. A análise dessas partes foi um relato, golpe-a-golpe, do que acontece durante a queima de um foguete que entra na atmosfera.

De início apenas as partes externas são expostas à pressão aerodinâmica e ao aquecimento. Demora um pouco para que a superfície externa — tanques de combustível sob pressão, estruturas da parte superficial, tais como o compartimento de comando e a parte traseira em volta dos motores — queimem ou se rompam. Só então as partes internas do foguete ficaram expostas à corrente de ar, que abrasa e incendeia. Pequenas partes do interior do casco poderão continuar protegidas contra o calor.

Seja, por exemplo, a armadura de um motor elétrico dentro de uma "caixa negra" de alumínio, que também pode conter outros elementos do sistema elétrico do teleguiado. A "caixa negra" só sofrerá aquecimento aerodinâmico após desaparecido o compartimento de comando que a circunda — o que pode tomar quase todo o tempo necessário para diminuir a velocidade de desintegração do veículo. O aquecimento e a fusão da "caixa negra" leva mais tempo — e o mesmo conseqüentemente ocorre com o envoltório do motor que ainda protege a armadura interior. Assim, a armadura pode não se expor ao ataque ao ar, até que a velo-

cidade do foguete seja insuficiente para proporcionar aquecimento aerodinâmico — e dêsse modo escapar sem dano.

Para os foguetes propulsores dos veículos espaciais, a história do que acontece é muito parecida à dos foguetes propulsores de mísseis de pequeno e médio alcance. Foguetes de dois ou três estágios arremessam espaçonaves a suas órbitas ou além — e os vários estágios caem com velocidade mais ou menos comparáveis às de separação do Redstone e do Júpiter. Uma exceção notável é o foguete Atlas, na configuração adotada nos vôos orbitais dos Atlas-Mercury.

Os estágios do foguete Atlas não são acoplados do modo "convencional", no qual se desprendem estágios completos, inclusive tanques e motores, economizando pêso. Em vez disso, êle emprega "estágios de motores". Dois motores de "foguetes" são abandonados durante a ascensão, e o vôo continua sob impulso de um motor de "manutenção", abastecido pelos mesmos tanques. Assim, os fenômenos de reentrada de que falamos se aplicam sòmente aos motores "de propulsão" destacados.

No Atlas, todo o sistema de tanques entra em órbita. A altitude da órbita nos vôos Atlas-Mercury era de apenas uns cento e cinqüenta quilômetros e após duas ou três voltas saíam de órbita. Como os tanques eram feitos de aço, a possibilidade de escapar ao calor da reentrada era muito maior do que a dos tanques de alumínio da maioria dos foguetes. Realmente, partes da estrutura dos tanques têm sido encontradas na América Latina.

II

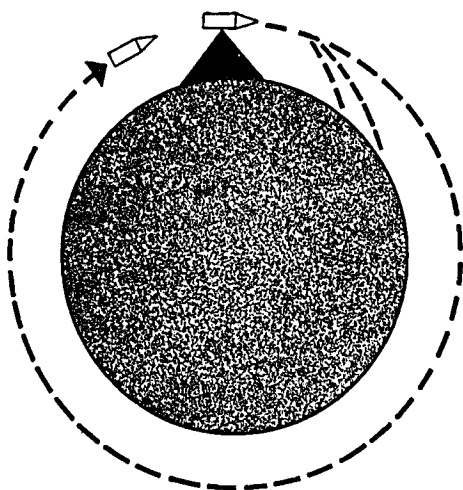
O VÔO ATRAVÉS DO ESPAÇO

Por que um Satélite se Mantém no Espaço e Como Desce

Já imaginou você o que faz um satélite entrar em órbita? Bem, imagine-se no pico de uma alta montanha, bem acima da atmosfera e disparando uma bala em direção horizontal. (Ver o esbôço).

A princípio, logo após deixar o cano da arma, a bala seguirá horizontalmente. Mas logo a fôrça gravitacional da terra desviará para baixo a sua trajetória, como no caminho mais curto da figura.

Com uma carga mais forte a bala irá mais longe, como se vê no caminho de comprimento imediatamente inferior, no esbôço. Sua trajetória será menos desviada porque a fôrça centrífuga (enquanto ela segue a curvatura da terra) é aumentada pela sua maior velocidade e contrabalança com maior eficiência a fôrça gravitacional da terra.

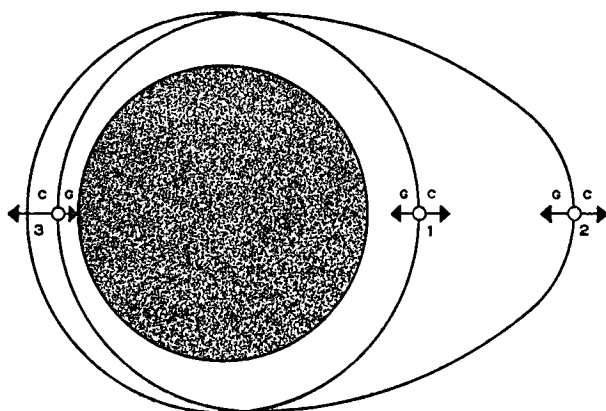
Se a carga tivesse fôrça para dar à bala uma velocidade de oito quilômetros por segundo (28.500 quilômetros por hora), o desvio *da trajetória, para baixo acompanharia a curvatura da terra.* A bala continuaria voando cada vez mais e cêrca de 85 minutos mais tarde seria bom tomar cuidado — porque ela, tendo

dado volta à terra, estaria aproximando-se por trás e iria bater na coronha da arma. O caminho percorrido seria uma órbita circular, o caminho mais longo em volta do globo, no esbôço. Se você não acredita, pergunte a John Glenn, Wally Schirra, Scott Carpenter, Gordon Cooper ou qualquer outro de nossos astronautas.

Em termos mais gerais assim podemos explicar o que torna estável uma órbita ou o que decide quanto à sua forma:

Ocorre *órbita circular* sempre que uma pequena massa, atravessando o campo gravitacional de outra consideràvelmente maior tem velocidade a que corresponde uma fôrça centrífuga capaz de equilibrar a fôrça de gravitação da massa maior. Essa precisão existe, em alto grau, no movimento orbital da Lua em volta da terra e de Vênus e da Terra em volta do Sol.

Se o equilíbrio entre as fôrças gravitacional e centrífuga não fôr perfeito mas a fôrça centrífuga fôr suficiente para evitar uma colisão direta, o corpo menor descreverá uma *órbita elítica* em tômo do maior. Os cometas descrevem órbitas elíticas em volta do Sol.

O segundo esbôço resume as condições que produzem órbita circular e elítica.

Um satelite sincrônico (como nossos satélites de comunicações Early Bird, Telstar e Syncom) é um corpo espacial que

se desloca do oeste para este em órbita circular bem alta, e com período de revolução de exatamente 24 horas. Um requisito adicional é que o plano da órbita coincida, pelo menos aproximadamente, com o do equador.

Como a terra gira em tôrno do seu eixo do oeste para este, e como o eixo da terra está em ângulo reto com o plano do equador, um satélite sincrônico parecerá parado — diretamente acima de um ponto determinado acima do equador. (Ou se êle tiver sido lançado numa órbita um tanto inclinada em relação ao plano do equador, como no caso do Syncom N.º 2, parecerá mover-se para frente e para trás em forma de 8, acima de um ponto determinado). Como é necessário que o período de revolução seja de 24 horas, sua altitude deve ser sempre de 42.000 quilômetros.

Os satélites sincrônicos são de grande interêsse para as comunicações no globo terrestre. Em razão de seu grande afastamento da terra, (cêrca de seis raios da terra) um satélite de 24 horas é visível simultâneamente de uma vasta região do globo. Por exemplo: Um satélite Syncom pairando acima do delta do Amazonas, no Brasil, está em contato de linha de visão direta com lugares tão distantes como Seattle, Trule (na Groelândia), Londres, Roma, Cidades do Cabo, Buenos Aires, Los Angeles e partes da Antártida. Serve de estação subsidiária de telefone ou televisão, unindo a América do Norte à Europa, África do Norte à Europa, África e América Latina.

Essas comunicações são feitas por microondas dirigidas em feixe ao satélite por meio de enormes discos ou antenas em chifre. O satélite não precisa ter uma antena direcional. Êle simplesmente transmite o sinal recebido a um transmissor que é carregado pelo Sol, e retransmite o sinal amplificado de volta para a terra em freqüência diferente.

Microondas permitem o emprêgo de grande número de freqüências adjacentes sem perigo de cruzamento. Um único satélite pode assim captar e retransmitir muitas conversas telefônicas e programas de televisão simultâneamente.

Três satélites sincrônicos de comunicação, na mesma órbita e espaçados de 120 graus, podem cobrir tôda a terra (salvo pequenas áreas em volta dos pólos Norte e Sul, onde os três satélites estariam um nadinha abaixo do horizonte).

Dada a enorme altitude do satélite, o tempo de ida e volta dos sinais eletrônicos da terra ao satélite atinge quase um têrço de segundo. Se isso é irrelevante em relação à televisão, já não se dá o mesmo em conversas telefônicas onde as pausas são bem notadas.

O leitor talvez haja estranhado a falta de ponta nas cápsulas em que os nossos astronautas do Mercury e Gemini voltaram à terra.

Para que uma espaçonave orbital volte à superfície da terra, é necessário que a sua velocidade inicial se reduza a zero. Não é muito interessante que a energia de retardamento seja fornecida por foguetes montados ao contrário; seria necessário um sistema de propulsão de potência quase igual, e conseqüentemente de igual consumo de combustível, à daquêle empregado de início para pôr em órbita a espaçonave.

Por essa razão essa montagem de foguete é empregada apenas para a limitada tarefa de desviar para a atmosfera a órbita da espaçonave. O grosso da ação de frenamento é trabalho da subseqüente resistência aerodinâmica. A resistência é produzida pela compressão e pelo atrito do ar. Ambas geram calor. Suponha-se que a energia cinética de uma bola de ferro que entre na atmosfera com velocidade orbital de 8.000 metros por segundo, fôsse tôda convertida em calor e que êsse calor fôsse todo transferido

de volta à bola. Ela nunca chegaria ao solo porque o calor daria para derreter trinta e cinco bolas de ferro.

Para que a reentrada seja bem sucedida é essencial, portanto, que apenas uma pequena parte do calor total gerado pela desaceleração seja absorvida pela cápsula espacial. O mecanismo mais eficiente para dispersar a energia da nave no ar circundante é uma onda de choque. Talvez o leitor já tenha reparado no estrago que a passagem de um grande barco a alta velocidade através de um canal estreito causa entre os botes amarrados uns aos outros e à amurada. Isso demonstra ao vivo que uma substancial parte da fôrça do motor é dispersada pela onda à proa do barco.

Quanto mais pontuda a proa menor a onda. E isso é igualmente válido para uma espaçonave que retorna com velocidade supersônica.

Vemos portanto que as cápsulas Mercury e Gemini tinham extremidade rombuda para *minimizar* o calor absorvido pela estrutura da espaçonave e maximizar o calor dispersado pela onda de choque.

Os aeroplanos supersônicos são pontudos para diminuir a resistência aerodinâmica. Isso é necessário quando se visa atingir velocidades sempre maiores com a fôrça limitada dos motores de que dispomos.

Mas as velocidades atuais dos aeroplanos supersônicos, voando em curtos períodos a velocidades Mach 2 ou 3, não apresentam problema material muito sério.

Uma espaçonave orbital, como as cápsulas Mercury ou Gemini, é levada ao espaço por um poderoso foguete que se eleva verticalmente. Sua trajetória começa a nivelar-se sòmente após a passagem pelas camadas mais densas da atmosfera. Aí, a resistência aerodinâmica durante a ascensão torna-se irrelevante. Mas a reentrada, vindo da órbita, é iniciada com Mach 25! Durante a ação de retardamento que se segue deve se afastar da cápsula o calor, dissipando-o tanto quanto o possível na atmosfera, primeira preocupação nossa.

O Estranho Mundo da Gravidade Zero

Quando, durante um "passeio espacial", um astronauta se torna um satélite humano, flutuando livremente na vastidão do espaço,

êle apresenta impressionante exemplo das estranhas coisas que podem acontecer no reino da gravidade zero.

O tenente-coronel russo Alexei Leonov, no vôo orbital do Voskhov 2, em março de 1965, deixou a espaçonave e viajou ao seu lado durante dez minutos, a aproximadamente 29.000 quilômetros por hora, antes de voltar, ao longo cabo que o prendia.

Sua fantástica experiência foi partilhada, poucos meses depois, pelos nossos próprios homens do espaço. Em junho de 1965, o astronauta Edward H. White II saiu da sua cápsula Gemini 4 e demonstrou a possibilidade de um "passeio espacial" controlado graças ao emprêgo de uma arma manual de reação. Em vôos subseqüentes os astronautas Cernan, (Gemini 9), Collins (Gemini 10) e Gordon (Gemini 11), se empenharam na realização de tarefas de variada complexidade do lado de fora de sua cápsula espacial. As dificuldades encontradas não foram poucas e todos concordaram na necessidade de pontos de apoio para os pés e mãos do astronauta, ou outro meio qualquer de ancoragem ao veículo espacial.

Qualquer espaçonave em vôo sem motor, quer em volta da terra ou a caminho da Lua ou de um planêta, estará sujeita a êsses estranhos efeitos de gravidade nula. Dentro ou fora da cápsula os viajantes espaciais constatam que a familiar lei da gravidade é aparentemente repelida. Todos os objetos soltos, astronautas inclusive, flutuam sem rumo, em vez de permanecerem em seus lugares ou assentos.

Gravidade zero, ou imponderabilidade,(*) não significa que a gravidade tenha deixado de agir. Resulta ela, isto sim, de uma situação na qual tanto a cápsula espacial quanto seu conteúdo podem livremente seguir idênticas fôrças de gravidade.

Assim que um veículo espacial é "injetado" em qualquer espécie de trajetória no vácuo e sem motor, seu casco, seus tripulantes e seu conteúdo obedecem fielmente às leis do movimento que regem todos os corpos celestes, e por isso não poderá haver fôrças relativas entre êles. A vida e os afazeres cotidianos em gravidade zero criam, pois, curiosos problemas.

Antes de dormir, os astronautas precisam atar-se, do contrário flutuarão pela cabina impelidos pela própria respiração.

(*) *Weightlessness.* (N.R.)

Banho de chuveiro é difícil; o de esponja deve ser moda à gravidade zero.

Como crianças, os astronautas precisam beber em garrafas de plástico que podem ser comprimidas. Beber água numa garrafa comum também é difícil: a água custa a sair e depois sai demais.

Em viagens curtas, o alimento para os astronautas é levado na forma desidratada. Depois injeta-se água no frasco plástico que contém o alimento e, após um pouco de massagem no recepiente, espreme-se o creme resultante para dentro da bôca, puxando o frasco por entre os dentes fechados.

É interessante notar que não há dificuldade em deglutir em condições de gravidade zero. O esôfago é provido de uma série de anéis circulares que forçam o alimento para o estômago, haja ou não gravidade. Essa fôrça é tão efetiva que atua mesmo *contra* a gravidade: é possível comer de cabeça para baixo.

Com o aumento da duração dos vôos espaciais outros modos de alimentar serão providenciados. O mínimo que os astronautas desejarão será alimento quente do tipo "junte água, aqueça, e sirva".

Em viagens planetárias que durem várias centenas de dias pode-se ficar certo de que haverá coquetel de camarão, filé minhom, salada Waldorf, etc. As despensas das naves espaciais terão frigoríficos mais ou menos convencionais, aquecedores a infra-vermelho, cafeteiras e armário de temperos. Mas até mesmo as mais luxuosas cozinhas espaciais para as viagens de grande duração evitarão desperdício de alimento. Tôda a carne será desossada e livre de gorduras indesejáveis; as batatas já deverão estar descascadas; as cerejas sem sementes. Se algum dia servirem Martini em espaçonave, êle virá sem azeitona.

Os fabricantes de porcelana de mesa deverão empregar todo o seu engenho na fabricação de novas peças que possibilitem "boas maneiras" às refeições em condições de gravidade zero. Haverá necessidade de pratos com tampa de mola para evitar que o bife saia voando. Além disso os próprios pratos deverão ser "ancorados" de um modo qualquer. Os garfos continuarão servindo, mas as colheres serão inúteis. As facas serão serrilhadas para diminuir a pressão de corte, ou substituídas por aparelhos do tipo tesoura que podem dispensar qualquer pressão unilateral.

As ferramentas para uso em gravidade nula deverão também ser especiais. Se um astronauta sem pêso tentasse apertar um parafuso com chave comum, o mais que poderia conseguir seria êle girar à volta da chave. Será preciso empregar chaves de apêrto que não requeiram firmeza sôbre os pés, para poder torcer.

Limpeza é a norma da boa dona de casa, e isso se aplicou também no espaço. Em gravidade zero a limpeza rigorosa é ainda mais importante que no lar: Uma vez em órbita, em condições de gravidade nula, qualquer sujeira ou pó na espaçonave não iria pousar inofensivamente sôbre um tapête ou uma cadeira. Ficaria flutuando em volta e poderia ser aspirado, causar curto-circuito ou ainda ser sugado pelo sistema de condicionamento de ar. Essa é uma boa razão para não querer torradas numa astronave.

A espaçonave é montada e conservada em condições de limpeza de sala de operações em hospital. Até mesmo o acesso ao tôpo do imenso foguete, antes da partida, se faz através de um quarto de serviço mantido em condições de limpeza hospitalar.

Ao deixar o "furgão de transferência" os astronautas entram num reluzente elevador que os leva até êsse quarto de serviço, localizado no último andar da estrutura lateral. Antes de entrar na espaçonave êles removem a capa que lhes envolvia os sapatos. Tôdas essas precauções visam a evitar a entrada de pó ou qualquer cisco na astronave.

Tôda ferramenta ou peça de equipamento sôlta, usada dentro da nave, deve ter seu próprio lugar ou suas fitas de amarração. Um gripo ou alicate flutuando inofensivamente num canto da espaçonave durante semanas de gravidade zero pode transformar-se em projétil mortal no momento em que forem ligados os motores ou que comece a desaceleração da reentrada na atmosfera.

Até agora discutimos problemas de gravidade nula que podem ser fàcilmente previstos. Não temos ainda igual segurança para falar sôbre o mais importante de todos êles.

Muito se especulou e escreveu acêrca da capacidade do homem de viver e movimentar-se em condições de gravidade zero em extensos prazos. Antes do primeiro vôo orbital tripulado isso era matéria de grande preocupação. Hoje o que sabemos é o seguinte.

Nossos astronautas do Mercury e do Gemini, tiveram várias horas de experiência de imponderabilidade em seus vôos orbitais. Em fevereiro de 1962, ao voltar após três horas ao redor da terra, John Glenn declarou que a imponderabilidade prolongada era uma experiência divertida e que em nada prejudicou sua eficiência como pilôto. Leroy Gordon Cooper, que circulou em volta da Terra durante mais de 34 horas a 15 e 16 de maio de 1963, realizou brilhante manobra de reentrada manual no fim da vigésima segunda volta — demonstrando convincentemente que, mesmo após essa longa permanência em gravidade nula, sua eficiência e precisão nada haviam sofrido. Em dezembro de 1965 Frank Borman e James Lovell permaneceram em órbita durante nada menos de duas semanas no Gemini 7 e voltaram dispostos e animados. Provaram claramente que os vôos de ida e volta do Apolo à lua, calculados aproximadamente para dez dias, não estariam sujeitos a surprêsas desagradáveis no caminho, causadas pela imponderabilidade.

Apesar disso, seria imprudência afirmar que a prolongada gravidade zero não apresentará problemas fisiológicos sérios. Tanto as viagens interplanetárias como as operações científicas de vôo prolongado em órbitas terrestres ou atividades de pesquisa orientadas da Terra envolverão longas exposições à imponderabilidade. Sòmente o tempo e a experiência dirão se o homem é ou não bastante adaptável para continuar operando com presteza e decisão. Pode muito bem acontecer que, nas operações prolongadas, seja preciso recorrer à gravidade artificial produzida por fôrça centrífuga rotacional.

Por enquanto podemos supor que, para manter sua aptidão física durante vôos prolongados, os astronautas precisarão de aparelhamento para exercícios físicos — e isso é fácil de proporcionar. Nas lojas esportivas há desde as simples tiras elásticas até às complicadas máquinas de remar e pedalar, que podem muito bem ser usadas à gravidade zero do espaço exterior.

Gravidade Artificial

Em 14 de setembro de 1966, dois dias após a entrada em órbita da sua Gemini 11, o astronauta Richard F. Gordon saiu para o espaço e amarrou à nave uma corda de 30 metros do veículo alvo

Agena, que estava prêso ao Gemini. Depois que Gordon voltou, o comandante "Pete" Conrad desligou os dois veículos e afastou-se até esticar a corda. Ligando então os jatos laterais de contrôle, imprimiu movimento rotacional de cêrca de dois graus por segundo, ou um têrço de volta por minuto, à "haltere" em órbita. Êsse lento movimento de rotação gerou leve fôrça centrífuga, equivalente a um impulso de gravitação de cêrca de 1/1000 de G, que levou os astronautas muito suavemente de volta a seus assentos. Pela primeira vez, ainda que em escala modesta, se criara a gravitação artificial em espaçonave tripulada.

A façanha exigiu manobras engenhosas. Enquanto a corda ia sendo tirada de dentro do seu receptáculo no veículo Agena, os trancos resultantes faziam que êle girasse de um lado para outro. Finalmente o Gemini esticou a corda, mas demorou bastante para que o Agena parasse de balançar e se alinhasse com a corda. Mesmo após o impulso rotacional imprimido a essa configuração em forma de haltere, a aceleração centrífuga não se estabilizou logo, mantendo valor constante porque a corda de amarração, feita de fios trançados de dacron, era elástica e comportava-se qual mola, esticando-se e contraindo-se durante muito tempo.

Conrad e Gordon completaram duas voltas e meia em tôrno da terra nesse haltere, em lenta rotação. Provaram que duas naves espaciais em órbita podem ser unidas por uma longa corda e que uma rotação lenta impede muito bem que elas se enleiem ou colidam uma com a outra. Isso significa ser possível o vôo orbital em fila e que, portanto, não haverá necessidade de gasto proibitivo de combustíveis para "manter a posição".

A experiência provou também que a leve fôrça centrífuga resultante da rotação é aceitável e não produz desconfôrto para a tripulação.

Contudo, nesta tentativa pioneira, a rotação foi muito lenta e e a aceleração centrífuga muito fraca para esclarecer as seguintes e velhas questões.

Será a fôrça centrífuga, rotacionalmente induzida, substituto da fôrça gravitacional ausente em vôos orbitais sem motor? E será mesmo conveniente que haja gravidade artificial?

As primeiras concepções de estações espaciais tripuladas previam a gravidade artificial produzida mediante rotação, em decorrência da completa falta de conhecimento sôbre a capacidade humana de suportar a imponderabilidade. Vôos, em "trajetórias

balísticas", de foguetes e aeroplanos a jato, podiam simular essa condição irreal durante um minuto ou dois. Mas, sem os atuais vôos orbitais tripulados era impossível saber se a gravidade zero era aceitável durante dias, semanas ou meses.

Sabemos agora, depois do vôo de Frank Borman e James Lovell no Gemini 7, que duas semanas de gravidade nula não representam perigo nem prejudicam a eficiência do pilôto. Mas ainda não sabemos se a gravidade nula seria aceitável numa estação espacial permanente ou em viagens interplanetárias de meses. É bem provável que a gravidade artificial seja empregada nesses projetos.

As considerações a favor da gravidade artificial são em parte de ordem médica e em parte de ordem prática. Vejamos primeiro os aspectos médicos.

Entre os mais extraordinários aparelhos sensoriais do homem figuram os "órgãos vestibulares" do ouvido interno. Êles são constituídos de dois subsistemas principais: 1. Os "canais semicirculares", cheios de líquido; quando inclinamos a cabeça, para cima ou para baixo, a leve diferença de pressão nas extremidades do canal gera um sinal no cérebro que indica *aceleração angular*. 2. O "aparelho otolítico" é uma estrutura em forma de seixo que incluída numa substância gelatinosa flutua sôbre pêlos. Êstes pertencem a células sensoriais que transmitem ao cérebro o aumento de carga do otólito por meio de sinais que são aceitos pelo cérebro como "para baixo". O otólito responde à *aceleração linear.*

Sabemos que os órgãos vestibulares são fàcilmente perturbados. Algumas pessoas ficam tontas num simples carrocel. Outras são sujeitas ao enjôo de mar. A vertigem pode pregar peças até mesmo a pilotos experimentados.

Além disso, sabe-se que o efeito de súbita falta de gravidade é um estado físico de alerta. Na vida comum gravidade nula significa queda livre — voluntária se pulamos numa piscina, ou involuntária se caímos de uma escada. Em ambos os casos é iminente um impacto potencialmente perigoso e o corpo é alertado pela mensagem da gravidade-zero do otólito ao cérebro.

O que aconteceria se não houvesse impacto nem o sinal de "tudo bem" depois que o otólito enviasse o seu sinal de alarma de gravidade zero ao cérebro? Alguns médicos temiam efeitos pronunciados sôbre a eficiência dos astronautas antes das primeiras incursões do homem no espaço exterior. Sabemos agora

que êsse problema não existe; pelo menos para pilotos experimentados, que já passaram por vários períodos curtos de G zero. Na verdade, todos os astronautas comentaram que o único perigo da gravidade zero era a sensação de extraordinário confôrto que induzia ao sôno e tornava um pouco mais difícil permanecer acordado durante os períodos de pouca atividade ou interêsse. O maior problema de adaptação era talvez o de voltar a acostumar-se à gravidade normal, principalmente após ter caído no mar e ser sacudido pelas ondas.

Estudos médicos indicam que alguns efeitos físicos de fato decorrem da gravidade nula e que êles são muito parecidos com os efeitos de prolongada permanência na cama. Por exemplo, as extremidades inferiores do corpo agem como espécie de piscina onde grande parte do nosso suprimento de sangue é mantido por gravidade quando estamos de pé, o que não acontece quando estamos deitados ou em gravidade zero. Nessas condições, portanto, o coração tem que bombear muito mais sangue, em média, do que quando estamos de pé.

Como resultado, o coração envia um sinal aos rins para extrair alguma água do sangue, que em um dia ou dois será eliminada como urina. No fim do período de permanência na cama ou de exposição à gravidade zero dos vôos espaciais, o volume é prontamente restaurado graças a sêde intensa.

Há ainda outras considerações de ordem prática que podem justificar a introdução de gravidade artificial nas estações espaciais e naves interplanetárias. Quando não cai no chão, mas mantém-se flutuando no ar, a sujeira pode tornar-se extremamente desagradável após algum tempo. A cabina de uma nave espacial pode ser novinha em fôlha e cirúrgicamente limpa à partida, mas após várias semanas de comidas, bebida e experiências científicas, além do desempacotamento e armazenamento de equipamento auxiliar — sem falar das funções higiênicas do corpo — as coisas podem tornar-se bem inconfortáveis. Com gravidade artificial já será possível fritar um ôvo em panela, pôr um livro sôbre a mesa, usar aspirador para o pó do assoalho, tomar banho de chuveiro e levar vida normal.

Mais importante ainda, será possível usar aparelhagem de pesquisa construída para laboratórios normais da terra. Não será preciso estudar a aparelhagem básica para torná-la compatível com a gravidade zero de um laboratório espacial.

Os primeiros cientistas já se associaram ao nosso programa astronáutico, mas hoje em dia a procura de qualificações físicas é ainda muito elevada. A astronáutica está em estado experimental e todo astronauta deveria ser capaz de suportar as tensões físicas das súbitas emergências.

Acontecia o mesmo há uma década, quando avião a jato era aventura para profissionais. Hoje o campo já esta invadido por avós, senhoras idosas e bebês, e o espaço reservado a pára-quedas foi substituído por televisão, música estereofônica e serviço de alimentação requintada.

Daqui a uns dez anos a maioria dos habitantes de uma estação espacial será composta de astrônomos, biologistas, pesquisadores médicos, engenheiros e meteorologistas. O astronauta de hoje terá sido promovido ao posto de comandante de estação espacial ou membro de sua congregação. E à medida que as atividades espaciais forem absorvendo maior número de pessoas comuns, a gravidade artificial irá tornando-se familiar — porque fará que a vida no espaço se torne mais parecida com a vida no lar.

Encontro no Espaço

Quando os pilotos Virgil I. Grisson e John W. Young alteraram o curso de vôo do Gemini 3, em março de 1965, a proeza foi saudada como histórica. Pela primeira vez uma espaçonave tripulada foi manobrada de uma órbita para outra. Nesse caso houve três variações sucessivas, tanto na altitude como na inclinação da órbita.

A façanha foi importante, pois era a primeira prova bem sucedida de um sistema destinado a manobrar um veículo espacial tripulado, possibilitando encontros e acoplamentos. E essa possibilidade foi o requisito-chave de muitos vôos subseqüentes dos Gemini, com vários objetivos, e também do programa Apolo de descida na Lua.

Por exemplo: O Módulo Lunar Apolo, com dois astronautas, ao voltar da superfície da Lua precisa encontrar o Módulo de Comando e Serviço e com êle acoplar-se. Êste, com seu "guarda-nave" solitário, estará girando em tôrno da lua durante a descida do ML à superfície lunar e sua reascensão. O encontro é o único

modo de levar de volta à Terra os três astronautas do Apolo. (Ver capítulo 23, "Vencendo os Perigos do Vôo Espacial Tripulado".)

Missões de reparo, estações espaciais, reabastecimento no espaço e inspeções de satélites são operações que requerem técnica aprimorada de encontro e acoplamento.

O Gemini 3, primeiro dos Gemini tripulados, tentou exatamente isso. Com o Gemini 6 os astronautas Walter M. Schirra, como pilôto comandante, e Thomas P. Stafford, como pilôto, conseguiram realizar pela primeira vez, em 16 de dezembro de 1965, o encontro de sua nave com o Gemini 7. Essa espaçonave havia sido lançada a 4 de dezembro e só voltou à terra em 18 do mesmo mês após o mais longo vôo tripulado jamais realizado — duas semanas completas.

Em março de 1966 os astronautas Armstrong e Scott executaram a primeira operação de acoplamento quando engataram Gemini 8 a um foguete Agena, anteriormente lançado. Nos vôos subseqüentes dos Gemini 9, 10 e 11 essa façanha foi repetida três vêzes sem um tranco sequer. Portanto, o problema de encontro e acoplamento pode ser considerado como resolvido.

Dentre vários perfis possíveis de encontro em vôo, o chamado método das órbitas concêntricas fôra escolhido para todos os exercícios de encontro entre os Gemini e os Agena. Vamos descrever um exemplo do plano de vôo resultante.

Um veículo alvo Atlas Agena D não tripulado e uma nave espacial Titan II/Gemini com dois homens têm contagem regressiva simultâneamente em Cabo Kennedy.

O veículo alvo é lançado primeiro. Após a extinção do Atlas é feita a ignição do Agena D que é assim colocado em órbita circular de 300 quilômetros de altitude e com inclinação de 28,87 graus em relação ao plano do equador.

Cêrca de 100 minutos mais tarde, na primeira passagem orbital do Agena sôbre a área do Cabo, o veículo de lançamento Titan II põe a nave espacial Gemini numa órbita elítica interna à órbita circular do Agena. Essa órbita elítica tem um perigeu, ou menor altitude, de 160 quilômetros; e um apogeu, ou maior altitude, de 260 quilômetros.

É muito importante que as órbitas do Agena e do Gemini sejam quase "coplanares", isto é, no mesmo plano, como duas figuras desenhadas na mesma fôlha de papel. A inclinação permis-

sível entre os dois planos orbitais é de meio grau, aproximadamente.

Não é fácil conseguir tal precisão. Durante o lapso de 100 minutos entre os lançamentos do Agena e do Gemini, a rotação da Terra desviará o local de lançamentos do Cabo Kennedy de 25 graus em direção a este, ao passo que a órbita do Agena permanece fixa no espaço. Êsse problema da rotação da Terra pode ser contornado pela seleção de um plano orbital cujo extremo norte coincida com a latitude do Cabo. Apesar disso é preciso dirigir e variar ativamente a direção azimutal do Titan durante a fase de vôo com motor para fazer que os planos das duas órbitas coincidam.

O período de revolução da espaçonave Gemini, em volta da Terra, ao longo de sua órbita elítica interna é de cêrca de 1 minuto e meio mais curto do que o do Agena, que lhe serve de alvo. Essa diferença dá ao Gemini — o veículo "caçador" — uma vantagem de 5 graus e meio por órbita sôbre o alvo.

O lançamento da nave espacial se faz no momento em que o Gemini esteja cêrca de 38 quilômetros atrás e 38 quilômetros abaixo do Agena, depois de 3 órbitas e meia (quando êle se desvia para seu apogeu pela terceira vez, cêrca de seis horas após o lançamento). Nessa posição relativa, o Gemini aciona seus motores e transforma sua órbita elítica numa circular de 260 quilômetros de altitude.

Os astronautas do Gemini começam então a sua manobra de aproximação a 260 quilômetros de altitude. O vôo espacial do veículo-alvo Agena é estabilizado por um sistema de contrôle de altitude que emprega giroscópios e pequenos propulsores. Emite luz intermitente, como nos faróis, fàcilmente percebida contra o fundo estrelado.

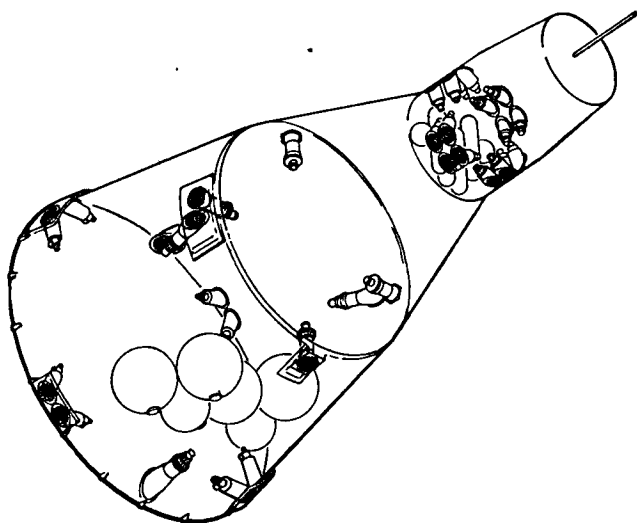
O pilôto de Gemini tem duas alavancas de contrôle, uma em cada mão. Elas acionam os pequenos propulsores — motores-miniaturas de foguetes de 10 a 50 quilos de impulso cada um. No vácuo espacial êles fornecem as fôrças vitais de contrôle que um aeroplano obtém pela deflexão de suas superfícies aerodinâmicas de contrôle.

Com uma das alavancas o pilôto pode apontar o nariz do foguete para cima ou para baixo e girá-lo para a esquerda ou direita. Com a outra alavanca êle pode mover tôda a nave para

cima ou para baixo, desviá-la de lado ou levá-la para a frente ou para trás.

Usando êsses contrôles manuais o pilôto pode aproximar sua espaçonave do alvo que permanece piscando a sua luz no céu, à frente e acima dêle. Cuidando para que a luz se desvie nem para cima ou para baixo, nem para a esquerda ou direita em relação ao céu estrelado, o pilôto mantém a sua nave num curso de "colisão" com o alvo.

O radar de bordo do Gemini mantém o pilôto informado sôbre a distância com que êle se aproxima do Agena e a razão de aproximação (velocidade relativa de aproximação). Com a diminuição da distância reduz-se também o excesso de velocidade do Gemini.

Cêrca de vinte minutos após o início da operação de abordagem, os dois veículos estarão a cêrca de uns quatrocentos metros um do outro, e a velocidade relativa se terá reduzido a 2,5 ou 3 metros por segundo (cêrca de 9 a 11 quilômetros por hora). Nessa posição começa a fase de acoplamento.

Para mudança de órbita o Gemini usa 16 pequenos impulsores (os pontos negros mostram os focinhos) na parte larga da nave. Outros, colocados no estreito focinho, auxiliam a reentrada.

As janelas da espaçonave proporcionam ampla visibilidade para efetuar manualmente a manobra de acoplamento. O veículo-alvo Agena possui uma "cintura de acoplamento" destinada a absorver as cargas de choque produzidas por velocidade de colisão superior a 45 centímetros por segundo (cêrca de 1,5 quilômetros por hora). O mecanismo de acoplamento, como dissemos, é um engate que evita que os dois veículos acoplados tornem a separar-se.

Os dois veículos acoplados são manobrados como se fôssem uma só espaçonave.

Para concluir sua missão, os astronautas do Gemini desengatam sua nave espacial do Agena. Os pequenos propulsores afastam a Gemini do alvo-Agena – e levam-na de volta à Terra.

Guiando Espaçonaves para Outros Mundos

Espaçonaves destinadas à Lua ou a um planêta são às vêzes lançadas diretamente à trajetória no espaço longínquo. Mais recentemente, porém, elas têm sido colocadas numa órbita de "estacionamento" provisório em volta da Terra. Após uma ou várias revoluções, o estágio superior do foguete de lançamento é ligado para levar ao seu destino a espaçonave. Qual a vantagem oferecida por uma órbita de estacionamento? Do ponto de vista da mecânica celeste, um foguete pode ser lançado de qualquer ponto da terra *diretamente* à Lua ou qualquer planêta. Colocar o foguete numa órbita temporária é mera comodidade na execução da operação. Com isso se aumenta muito a "janela de lançamento", ou seja, o intervalo de tempo durante o qual se pode fazer o lançamento.

Seja um lançamento do Cabo Kennedy à Lua. O Cabo dá uma volta completa em tôrno do eixo da Terra em 24 horas, ao passo que a lua circunda a Terra em cêrca de um mês. Então, o problema de atingir a Lua pode ser comparado ao de acertar num coelho artificial pôsto a girar sôbre uma roda, como fazem nos parques de diversões. A "janela de tiro" é estreita – só se pode atirar durante o breve instante em que o coelho é visível. Na próxima volta, porque nesta o coelho já se foi.

Pois bem, é muito mais complicado lançar um complexo foguete de vários estágios, a partir da sua plataforma, no instante

exatamente requerido. Não teria sentido na verdade, trocar o complicado conjunto de instruções de comando para ir da Terra à Lua só porque se perdeu o instante zero, por uns poucos segundos.

Quanto à vantagem em relação ao alvo lunar, é fácil ver que há apenas um ponto da trajetória em que o instante preciso é realmente crítico. É onde o foguete entra no seu longo curso sem motor até à Lua, o assim chamado "ponto de injeção translunar".

A órbita de estacionamento divide a jornada à Lua em duas fases distintas de vôo com motor: a parte do lançamento até a órbita e a parte da órbita-injeção lunar. O tempo de permanência na órbita de estacionamento até o momento exato de sua partida para a segunda fase do vôo à Lua pode ser de uns poucos minutos ou várias horas.

Assim, uma órbita de estacionamento proporciona dilatamento valioso para a sincronização entre o instante de lançamento do solo, um tanto flexível ou possìvelmente imprevisível, e o instante "congelado" da injeção translunar.

A caminho da lua ou de um planêta distante, a pontaria de um foguete é corrigida por manobra de "meio curso". É manobra com motores, para eliminar qualquer imprecisão na "injeção" da espaçonave em sua trajetória, após a partida dada pelo foguete de lançamento.

O termo "meio curso" não implica que essa manobra será realizada a meio do caminho para um alvo celeste. Por economia de combustível é vantajoso realizar a manobra de correção de "meio curso" bem antes do ponto médio — na verdade, quanto antes melhor. Contudo, para dar ao curso de correção a mais alta precisão é preciso esperar até definir bem a trajetória original.

A manobra de correção de meio curso pode ser apenas uma, ou várias manobras sucessivas. Em geral basta uma correção, se os requisitos de precisão para a astronave atingir o alvo não forem muito rigorosos. Missões em que há necessidade de grande precisão, como captura orbital pela Lua ou um planêta, ou ainda uma descida num ponto determinado na superfície da Lua, geralmente requerem duas ou mais correções.

O sucesso espetacular do vôo do Mariner II, de exploração de Vênus, é um belo exemplo dessa manobra correcional.

O Mariner II, fabricado no famoso Laboratório de Jatopropulsão da NASA, foi lançado do Cabo Canaveral em 27 de agôsto de

1962. Um foguete intercontinental Atlas D, convertido, foi o veículo de lançamento, e um Agena B serviu de segundo estágio.

O motor do foguete Agena foi desligado após a bem sucedida entrada em órbita de estacionamento do Mariner II, a 215 quilômetros acima. Após 13 minutos ao longo dessa órbita, o motor foi religado até ser, juntamente com o Mariner II de 200 quilos, injetado numa trajetória de fuga em direção a Vênus, a 48.000 quilômetros por hora. Isso aconteceu aproximadamente sôbre a Ilha da Ascensão, no Atlântico Sul, cêrca de 25 minutos após o lançamento.

Dois minutos mais tarde o Mariner II foi separado do extinto Agena. Sua carcaça aerodinâmica já fôra expelida a jato na extinção do Atlas, cinco minutos após o comêço da elevação.

Cêrca de uma hora após o lançamento, o Mariner II foi instruído, mediante rádiocomando do solo, a "adquirir o sol". A astronave estava provida de meia dúzia de sensitômetros solares (diodos sensíveis à luz) distribuídos para cobrir tôdas as direções. Não há perigo de confundir o Sol com outra estrêla qualquer, pois seu brilho excede de muito o de outras estrêlas. Os sensitômetros, ligados às válvulas de um sistema de contrôle de altitude a jato-de-nitrogênio, fizeram girar a espaçonave até que o seu eixo longitudinal apontou para o Sol.

Os painéis-borboletas do Mariner II, com suas 9.000 células solares expostas por um rádiocomando anterior, foram orientados para ser constantemente banhados pela luz solar. A partir dêsse ponto os instrumentos estavam independentes das fracas baterias químicas.

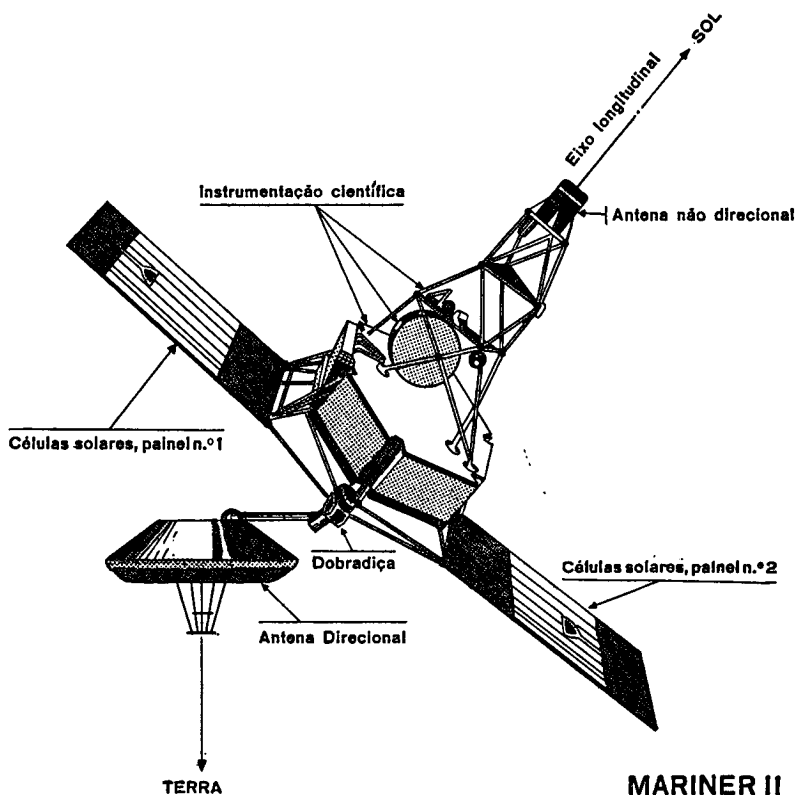
Uma semana após o lançamento, o Mariner II recebeu ordem de apontar para a Terra sua antena direcional de disco. Durante essa "aquisição da Terra" a espaçonave manteve a conexão com o Sol. Mas, embora continuasse rolando ao longo do seu eixo longitudinal e apontando para o Sol, em obediência a um pequeno jato de gás, sua antena de disco, inclinada num ângulo predeterminado, também fêz sentir a sua influência, levando a nave a começar a "olhar" para a Terra.

O sucesso da captação da Terra pela grande antena direcional logo se revelou por uma súbita elevação da fôrça dos sinais. (Até êsse momento tôdas as comunicações estavam sendo feitas por meio de uma antena separada e não direcional, da espaçonave).

Nessa posição, um pequeno contrajato dos escapamentos de gás cessou a rotação da nave em tôrno do eixo.

O Mariner II seguia agora, ao longo de sua trajetória, em vôo sem motor na direção de Vênus, estabilizado sôbre dois eixos – seu eixo longitudinal, apontando para o Sol, e a antena direcional, apontando para a Terra. Nessa situação começou a manobra de correção de meio curso, executada oito dias após o lançamento, em setembro de 1962.

Até êsse momento, todos os dados sôbre a trajetória, obtidos por três radares de 25 metros – espalhados na Califórnia, África do Sul e Austrália, para possibilitar cobertura contínua, apesar da rotação da Terra – eram levados a um computador eletrônico.

O computador comparava a trajetória real do Mariner II com a trajetória necessária para passar a uma distância de cêrca de

18.500 quilômetros de Vênus, fornecendo assim os dados para corrigir a trajetória real e eliminando os desvios do curso desejado.

Êsses dados eram emitidos ao Mariner II em três distintos radiocomandos:

1 – Girar de determinado ângulo em tôrno do eixo solar da espaçonave.

2 – Inclinar de determinado ângulo, isto é, girar a extremidade externa de um dos dois painéis em borboleta um pouco mais em direção ao Sol, afastando-se do Sol o painel oposto.

3 – Ligar um pequeno motor de 25 quilos de impulso na direção do eixo longitudinal do Mariner II até que êste atinja determinada velocidade. (O motor do foguete podia contribuir com uma velocidade de 60 metros por segundo).

Adequadamente executadas essas três ordens, o Mariner II estava no "trilho". Para estabilizar seus sistemas de contrôle de temperatura e comunicações, a espaçonave recaptava o Sol e a Terra. Nessas condições o vôo continuou durante o resto da viagem e da aproximação a Vênus, quando então foram ativados os instrumentos receptores de dados.

Após um vôo de 320 milhões de quilômetros o Mariner II passou por Vênus em 14 de dezembro de 1962 a uma distância de 4.000 quilômetros. Os inapreciáveis e inéditos dados por êle enviados levantaram os primeiros véus sôbre os mistérios dêsse curioso planêta.

Como Acompanhamos o Vôo de Nossa Espaçonave

Poucos minutos após um grupo de espectadores ter presenciado o lançamento de um veículo espacial da sua plataforma no Cabo Kennedy, Flórida, o sistema de alto-falante anuncia ao público que a espaçonave foi colocada em órbita com um período de revolução de 88,6 minutos, perigeu 175 quilômetros de altitude, apogeu de 230 quilômetros e plano da órbita inclinado de 31,73 graus em relação ao do equador.

Poucas horas mais tarde essa declaração é seguida por mais detalhadas informações sôbre separação de estágios, ângulo de ataque encontrado no vôo através de camadas de ventos de alta velocidade, irregularidade na pressurização dos tanques ou con-

trôle de voltagem, velocidades das turbo-bombas, vibrações estruturais, distensão das antenas da espaçonave e muitos outros fatos.

O sistema de obtenção e seguimento de dados que serve ao "ETR", Eastern Test Range,(*) torna possível êsse milagre. Provàvelmente é mais complexo ainda do que o veículo sôbre cuja realização acaba de informar. Êle emprega ótica, radar e aparelhamento de rádio para ver e ouvir o pássaro em célere fuga. Implica estações no continente americano, ilhas em regiões ao longo do seu curso, aeroplanos e navios. Possibilita elos de comunicação telegráfica e de rádio entre tôdas essas estações. E inclui um conjunto de sinais de tempo que coloca tôdas elas numa base de tempo-padrão absolutamente essencial para redução significativa dos dados.

A Região de Teste Oriental é servida por doze estações de acompanhamento. A Estação N.º 1, bem mais elaborada do que as outras, é localizada no Cabo Kennedy. Está equipada com quase tudo o que já tenha sido inventado e usado nesse campo.

Papel especialmente valioso no Cabo é desempenhado pela parte ótica, pois, ao contrário do que acontece com as estações ao longo do curso, o pássaro está relativamente perto. A cobertura ótica de um lançamento abrange as providências a seguir discriminadas.

Um conjunto de câmeras fotográficas e cinematográficas de documentação. Seus filmes e fotografias não servem apenas para relatórios e informações ao público, mas têm sido inestimáveis também na análise de fracassos antes ou logo após o lançamento.

Câmaras balísticas, como a Wild BC-4 — câmara extremamente precisa, usando uma grande chapa fotográfica òticamente plana — que vigiam a esperada trajetória de ascensão do pássaro, de vários pontos diferentes. Seus obturadores são repetidamente abertos e fechados simultâneamente, por sinais que partem do circuito de tempo da região-padrão. Em cada chapa aparece o brilhante traço de um foguete em ascensão, muito semelhante a um colar de contas cujo espaçamento cresce à medida que aumenta a velocidade do foguete. Colocando-se as chapas num projetor especial que funciona seguindo o princípio estereoscópico, é possível

(*) Região de Teste Oriental. (N.R.)

reconstruir a trajetória com grande precisão. As câmaras balísticas são usadas também na estações das ilhas ao longo do curso.

Cine-teodolitos como o Askania K-53, câmara que emprega filme e é operada simultâneamente por dois homens. Um dêles maneja a roda azimutal e o outro a correspondente à elevação. Ambos procuram manter o pássaro na cruz que marca o centro do campo de visão dos seus aparelhos. Cada imagem do filme fotografa a direção para a qual a câmara aponta (segundo indicações sôbre os circuitos direcionais de azimute e elevação) e também o pássaro. Isso torna fácil compensar o alinhamento impreciso e as sacudidelas. Colocando-se as imagens do filme, uma por uma, num compensador, que permite desviar a imagem do foguete para o centro da figura, é possível corrigir os ângulos de elevação e azimute.

Telescópios de rastreamento, como o Igor da Companhia Ótica Norte-Americana (Gravador Ótico de Interceptação de Campo) ilustrado pela fotografia. É, em essência, poderoso telescópio em montagem parecida com a de um cine-teodolito Askania, porém muito maior. Pode produzir figuras de alto poder de resolução de eventos distantes, tais como a separação do primeiro estágio do foguete e a ignição do segundo.

Antes de falar sôbre o equipamento eletrônico de rastreamento, vamos dar uma rápida olhada nas onze estações da Região Oriental de Testes, ao longo do curso do foguete. É bom lembrar que a do Cabo Kennedy é a Estação N.º 1 e vale por doze postos de rastreamento. Cêrca de 180 quilômetros ao sul, ainda na península de Flórida, está a Estação N.º 2, na baía de Júpiter. As Estações de 3 a 9, respectivamente na Grande Baama, Eleuthera, San Salvador, Mayaguana, na maior das Turcas, na República de S. Domingos e Pôrto Rico. A Estação 10 está inativa. A Estação N.º 11 acha-se na ilha brasileira de Fernando de Noronha. A última da dúzia encontra-se na solitária ilha de Ascensão, possessão inglêsa a oito graus ao sul do equador e mais de 9.000 quilômetros do Cabo Kennedy.

Os sistemas de rastreamento eletrônico da Região Oriental de Testes podem ser primàriamente divididos em aparelhos de "radar de impulsos" e de "onda contínua".

O rastreamento pelo radar é realizado por meio de rápido disparo de poderosos impulsos de rádio em direção ao foguete em fuga. Os sinais são refletidos quer pela carcaça metálica do fo-

guete — rastreamento de "pele"(*) — ou por um farol rádioamplificador levado pelo foguete — "rastreamento de farol". A mesma antena de disco que concentra o impulso de saída e o aponta ao foguete recolhe o "eco" eletrônico que volta e envia-o a um receptor. A distância inclinada da unidade de radar ao veículo espacial é dada pelo tempo decorrido entre a emissão e a recepção do sinal; a linha de visão do "pássaro" pela direção de que vem o eco mais forte. A Região Oriental de Teste tem uma grande rêde de conjuntos de radar, desde os veneráveis AN-FPS-16 até os AN-FPS-43 ainda em fase de experimentação. Contudo, nem todos os radares da RET são empregados como rastreadores. Alguns, como os AN-FPS-8, são vigias contra aeroplanos intrometidos, ou ajudam os radares rastreadores na busca do alvo.

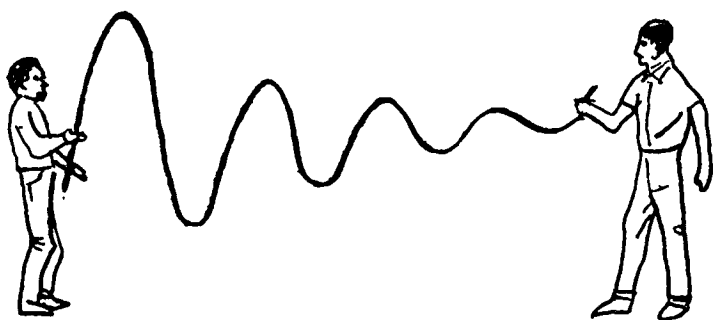
Os sistemas de rastreamento de onda contínua baseiam-se no efeito Doppler — o familiar fenômeno de mudança de tom no apito de uma locomotiva após a sua passagem. Envia-se ao foguete um sinal de freqüência bem estabilizada. O foguete em fuga recebe as ondas eletro-magnéticas em freqüência um pouco menos, exatamente como um navio que navegue com as ondas. Quando o sinal é reenviado para a estação no solo há mais um desvio Doppler de freqüência.

Comparando a freqüência de saída e a de retôrno, a estação terrestre pode determinar precisamente a velocidade de fuga do foguete em relação à estação e ao longo da sua linha de visão.

Fazendo-se essas medições de várias localidades do solo, simultâneamente, pode-se determinar a linha de vôo do foguete.

Em vez de várias estações terrestres independentes, todos os sistemas de rastreamento por onda contínua estão empregando um complexo transmissor receptor-avaliador central, conjugado a uma rêde de antenas muito dispersas e dispostas no solo em modêlo geométrico adequado. As pequenas diferenças entre os sinais transmitidos e recebidos em cada antena são trabalhadas pelo sistema, de modo a conhecer o curso de vôo do veículo espacial.

A Região Oriental de Teste tem os seguintes tipos de sistemas de rastreamento por onda contínua: Azusa, Mistram, Udop, Odop e Glotrac. Todos utilizam o efeito Doppler; diferem no modo de utilizá-lo, visando a maior precisão na determinação da trajetória.

(*) *"Skin"*. (N.R.)

Os vôos orbitais com lançamento do Cabo Kennedy passam invariàvelmente sôbre vastas extensões de oceano. Para assegurar rastreamento ininterrupto em fases críticas de vôo – tais como ascensão com motor e manobras também motorizadas em órbita – a ETR emprega vários navios de rastreamento: Como as estações de base terrestre da Região, êsses vasos são equipados com quase tudo o que existe em matéria de aparelhos registradores de vôos espaciais.

Êsses navios tornam-se assim um fator vital na segurança e eficiência das operações espaciais. Além de radares e computadores, têm um sistema de direção inercial semelhante aos usados nos submarinos atômicos. Essa unidade não só determina a localização exata do navio independente da visibilidade de quaisquer pontos de referência na Terra ou em estrêlas, mas também serve de referência para tôdas as antenas de radar a bordo e fornece registro de tôdas as indicações, desvios e balanços do navio durante as operações de rastreamento. Na computação dos dados, os movimentos do navio são subtraídos do alvo da antena – para equiparar pràticamente os dados aos recebidos por uma antena em plataforma estável.

Como os Homens Espaciais Usam Feixes de Laser

A palavra *LASER* é abreviação de "*L*ight *A*mplification by *S*timulated *E*mission *o*f *R*adiation" (Amplificação de luz por Emissão Estimulada de Radiação.)

Numa das formas de laser o elemento-chave é um cristal de rubi sintético, que realiza a incrível façanha de fazer que tôdas as

ondas de luz que dêle emergem "marchem no passo". Tal luz, "coerente", pode ser reproduzida a um feixe muito mais estreito do que o do melhor farol.

Os feixes de luz podem ser usados exatamente como as ondas de rádio para transmitir uma voz, um comando ou qualquer outra forma de comunicação. Um feixe de laser, fino como uma agulha, possibilita assim progressos extraordinários em comunicações a baixa potência, em distâncias extremamente grandes no espaço.

A energia luminosa de uma lâmpada ou outra fonte qualquer, incidindo sôbre o cristal de rubi do laser, pode ser armazenada temporàriamente pela expulsão de elétrons orbitais de alguns dos átomos do cristal, para órbitas mais elevadas porém de estabilidade temporária. Quando o elétron assim "elevado" cai de volta a sua órbita original, mais baixa, emite um pequeno "pedaço" de luz chamado fóton. Podemos visualizar o fóton como uma onda luminosa ràpidamente atenuada, comparável à ondulação imposta a uma corda como se vê no esbôço.

Para compreender melhor êsse estranho fenômeno, consideremos a estrutura de um átomo – qualquer átomo. No mais simples de todos, o átomo de hidrogênio, um único próton forma o núcleo e um só elétron revolve em tôrno dêle. O núcleo do átomo de oxigênio é formado por oito prótons e oito nêutrons em volta dos quais revolvem oito elétrons, em duas órbitas distintas. Um átomo de cromo, encontrado num cristal de rubi, tem núcleo ainda mais pesado, em tôrno do qual revolvem 24 elétrons orbitais.

Quando um elétron absorve a energia de um fóton incidente, é transferido para uma órbita mais elevada, cujo nível de energia excede o da órbita original em quantidade de energia exatamente igual à que lhe foi transmitida pelo fóton incidente. A energia dêsse fóton, por sua vez, depende ùnicamente do comprimento de onda da luz incidente. Contudo, no átomo de qualquer elemento apenas algumas transições específicas são "permitidas", enquanto as outras tôdas são "proibidas".

Portanto, os átomos de um elemento qualquer só podem absorver fótons de comprimento de onda compatível com o seu conjunto de órbitas permissíveis. Quando um elétron "excitado" – elétron que foi alçado a órbita superior – cai de volta a sua órbita inferior, mais estável, emite um fóton de energia precisa-

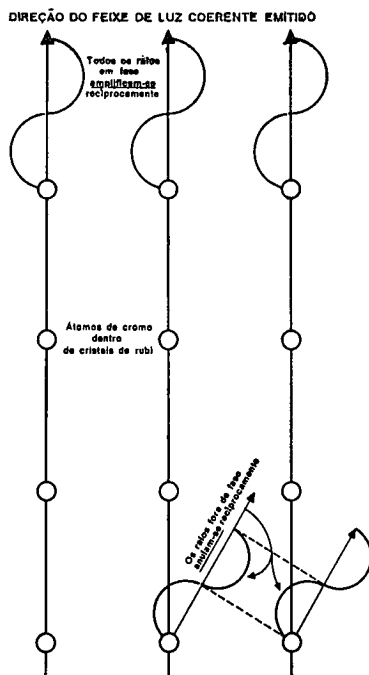
mente igual. (O fato de que alguns elementos só poderem emitir luz de determinados comprimentos de onda torna-se óbvio quando olhamos para a faixa do espectro emitido pelo neônio, por exemplo, nos tubos de luz florescente.)

O cristal de rubi é composto de cromo, alumínio e oxigênio. Certas órbitas de excitação mais elevada são "metastáveis", isto é, os elétrons podem permanecer um bom tempo nelas, antes de cair. Assim, o cristal não liberta necessàriamente fótons na mesma proporção em que êles são absorvidos.

Podemos, pois, "bombear" muita energia luminosa no cristal de rubi. Mas uma vez que o primeiro elétron excitado cai de volta na órbita inferior, emitindo seu típico fóton de vermelho rubi, o evento pràticamente reverbera por todo o cristal. Todos os outros elétrons excitados caem da mesma forma e emitem cada qual um fóton.

O que há de notável, aí, é que quando o rubi esgota a energia acumulada, as ondas de luz de todos êsses fótons emitidos se acham precisamente "em fase", o que significa que a luz é "coerente".

Em conseqüência do tamanho físico do cristal de rubi (que é naturalmente muito maior do que o comprimento de onda da luz emitida) as ondas luminosas emergentes não chegam simultâneamente ao alvo que alcancem. A situação pode ser comparada à de uma companhia de soldados em desfile diante de um palanque. Embora a primeira coluna passe pelo palanque antes da última, todos os soldados marcham em passo certo.

É muito mais fácil manter enfeixados os raios laser do que a luz comum, porque a estreiteza do feixe de laser decorre diretamente da estrutura cristalina do rubi. Quase tôda a luz coerente emitida (quando o rubi despeja a energia que acumulou) é irradiada na direção em que se acham alinhados os átomos de cromo no cristal. Isso acontece simplesmente porque, como na luz monocromática que passa através de uma rêde, os efeitos de "interferência" anulam a maior parte da luz emitida em outras direções. (Ver o esbôço). O estreitamento do feixe de laser é limitado principalmente pela perfeição no acabamento do plano de saída do rubi. Na prática podemos produzir feixes de laser cêrca de vinte a trinta vêzes mais agudos do que o feixe dos melhores faróis.

Num sistema laser de comunicação, que transporta voz ou sinal, o rubi é irradiado com fonte de luz adequada e contínua, e o cristal emite jatos para dentro do feixe em forma de agulha à razão de vários milhares de vêzes por segundo. O receptor distante (contra o qual, naturalmente, o feixe deve ser apontado com grande precisão) vê assim um feixe aparentemente contínuo de luz vermelho-rubi.

Para transmitir uma voz, insere-se filtro adequado no feixe, cujo efeito é modulado ou variado por meio da corrente elétrica de um microfone. No ponto de recepção, a variação de intensidade do feixe de luz incidente produz corrente que aciona o alto-falante.

Já se sugeriu que o princípio do laser poderia também ser usado para gerar o "raio da morte", capaz de matar soldados a distância de vários quilômetros ou destruir aeroplanos ou teleguiados em vôo.

Em qualquer dêsses casos, o emprêgo do princípio do laser iria, naturalmente, exigir um laser capaz de produzir tremenda

onda de potência da ordem de milhares ou mesmo milhões de quilowatts.

Num cristal de rubi, a maior parte da energia absorvida é convertida em calor inútil, e sòmente pequena porcentagem é utilizada na produção do feixe de impulsos de luz coerente. Enquanto se tratar dos níveis de potência relativamente baixa, requeridos em comunicações, os resultantes problemas de resfriamento podem ser enfrentados. Mas se tentássemos produzir impulsos capazes de destruir um aeroplano a quilômetros de distância, o elevadíssimo desenvolvimento de calor dentro do próprio sistema do laser poderia até destruir o cristal.

Contudo, muita pesquisa se faz nesse campo e muita gente acredita que certos tipos de lasers, especialmente os "a gás", que não empregam cristal, têm grande potencial como armas futuras.

Células Combustíveis Fornecem Fôrça no Espaço

A célula combustível é um novo e extraordinário mecanismo capaz de converter combustível e oxigênio diretamente em eletricidade. Sua eficiência pode ser fàcilmente duas vêzes maior que a das fontes de potência convencionais. Como muitos outros conceitos técnicos revolucionários, a célula combustível é resultado direto das extraordinárias exigências da era espacial.

A célula mais avançada emprega hidrogênio e oxigênio, ambos em forma gasosa. O que ela faz é pràticamente o reverso das famíliares demonstrações escolares de eletrólise. Nesta experiência a corrente contínua que atravessa a água, rompe as moléculas separando hidrogênio em borbulhas num elétrodo e oxigênio gasoso no outro. Na célula combustível acontece justamente o contrário: fornecem-se hidrogênio e oxigênio em forma gasosa, e obtém-se corrente elétrica e um pouco de água.

Por seu pequeno pêso, as células combustíveis são fonte de potência quase ideal para os veículos espaciais. As fontes de combustível da General Eletric fornecem a energia elétrica para a espaçonave Gemini de dois tripulantes enquanto no Apolo destinado a levar norte-americanos à Lua se empregam as células Pratt & Whitney.

No programa espacial norte-americano, o emprêgo de células combustíveis está firmemente estabelecido, não só nas astronaves

mas também nas futuras estações espaciais e mesmo na superfície da Lua.

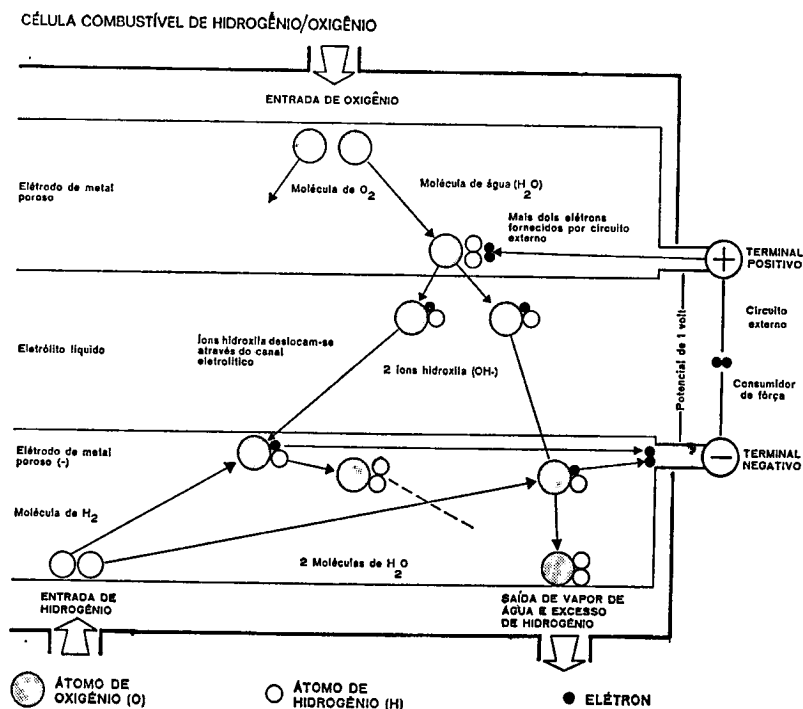
Uma das mais importantes características da célula combustível — em particular a de hidrogênio-oxigênio — é o seu subproduto água. A água de uma célula combustível é potável. É possível bebê-la como sai do conjunto de células — e astronautas necessitam de cêrca de 3 litros de água por dia, para viver. Além disso, com ajuda da eletricidade a água pode ser de novo transformada nos seus constituintes, hidrogênio e oxigênio.

Suponhamos um veículo circundando a Lua, carregado com células combustíveis. Suponhamos ainda que o seu hidrogênio e oxigênio sejam suficientes para um raio de ação de algumas centenas de quilômetros. Ao voltar, os tanques de hidrogênio e oxigênio podem estar quase vazios mas em compensação o tanque coletor de água estará quase cheio.

Para abastecer a astronave haverá um pôsto de serviço lunar. Êsse pôsto não precisará ser suprido de hidrogênio e oxigênio transportado da Terra. Terá, em vez disso, uma vasta rêde de células solares que transformam a energia solar em eletricidade. O pilôto do veículo espacial entrega sua água, e seus tanques são abastecidos com hidrogênio e oxigênio gerados num sistema eletrolítico de alta pressão. O suprimento de água pode, naturalmente, ser aumentado com a água de despêjo acumulada na vizinha base lunar.

Para colhêr energia solar equivalente a um cavalo-vapor, precisamos de um número de células solares, que ocupam área de vinte e cinco metros quadrados. Assim, seria incômodo, senão impossível, operar um veículo diretamente com fôrça solar, pois as travessias na Lua seriam aos trancos e barrancos. Mas nada há contra grandes áreas de células solares em postos de reabastecimento para reprocessar a água devolvida, em operações em que o fator tempo não é tão importante.

Assim, fonte de potência para veículos na superfície lunar, a célula combustível torna-se também modo conveniente de armazenamento de energia, operando mais ou menos como bateria de automóvel. A diferença importante é que, para igual quantidade de energia elétrica armazenada, a célula combustível é muito mais leve.

CÉLULA COMBUSTÍVEL DE HIDROGÊNIO/OXIGÊNIO

A célula combustível de hidrogênio-oxigênio (a mais fácil de descrever) opera como mostra o esbôço, baseado em material publicado por Pratt & Whitney. O oxigênio gasoso (O_2) entra pelo alto, e o hidrogênio gasoso entra por baixo, à esquerda. Os dois gases são levados a elétrodos de metal poroso separados por solução de hidróxido de potássio, líquido condutor de eletricidade, ou "eletrólito".

Nos elétrodos ocorre importante troca de íons, a chave da geração de eletricidade. O mecanismo básico (ver esbôço) processa-se como a seguir descrevemos.

Um dos dois átomos que formam a molécula de oxigênio (O_2) mais uma molécula de água (H_2O), mais dois elétrons, produzem dois íons hidroxila (OH^-). Êsses íons hidroxila se deslocam ao longo do "canal" eletrolítico. Dentro do elétrodo de hidrogênio poroso, cada íon hidroxila se combina com um dos dois átomos que formam a molécula do hidrogênio (H_2). Daí resultam duas

moléculas de água e dois elétrons livres. A água é removida por uma torneira. (Embaixo, à direita). Os dois elétrons livres são extraídos num terminal ligado ao elétrodo negativo (hidrogênio).

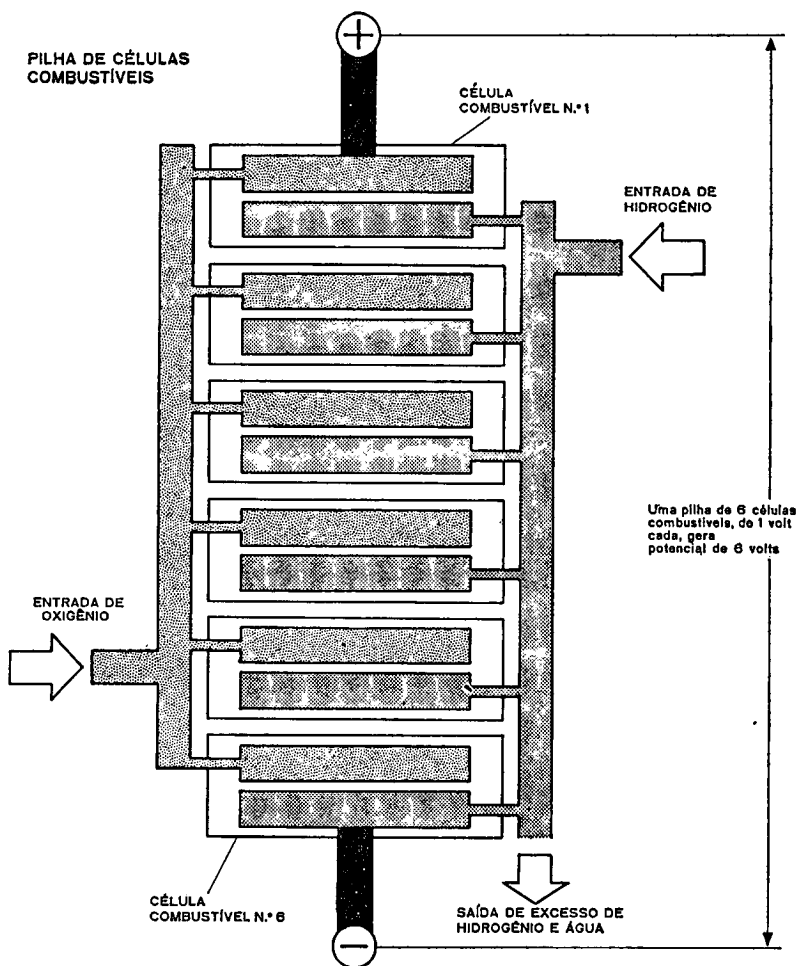
Em têrmos de fôrça hidrelétrica isso equivale a dizer que o lago de reserva (o elétrodo negativo) está em nível mais alto que o rio de escoamento (o elétrodo positivo). Como a água que se precipita nas turbinas de uma reprêsa, a corrente de elétrons produzida dentro do elétrodo negativo pode realizar trabalho útil, dentro de um circuito interno, antes de chegar ao nível de energia, mais baixo, do elétrodo positivo. Reentrando a célula por aí, de carona em novos íons hidroxila, os elétrons voltam através do eletrólito ao seu ponto de partida.

Naturalmente um volt não é muito — é cêrca da metade da voltagem de uma lanterna de pilha. Mas, como na lanterna ou nas baterias de automóvel, podemos enfileirar células em "séries", de modo a multiplicar a voltagem. O esbôço mostra como isso é feito.

A despeito de tôda essa eficiência, além de eletricidade útil uma célula também gera calor, que deve ser dissipado para proteger a própria célula. O calor é dissipado pela ventilação da célula por uma corrente adicional de hidrogênio gasoso. Êsse excesso de hidrogênio também serve para levar para a torneira a água gerada pela operação da célula combustível. Se a água não fôsse removida logo, a célula ficaria "afogada".

O excesso de hidrogênio pode agora ser resfriado num radiador e readmitido no ciclo, ou simplesmente ser expelido. A escolha depende de um equilíbrio entre o pêso do equipamento e o pêso de combustível. Nas operações a longo prazo é preferível resfriar e re-usar o hidrogênio. A curto prazo é melhor desprezar o hidrogênio, dispensando assim o radiador de resfriamento.

As células combustíveis são muitíssimo mais eficientes do que outras fontes de potência.

Desde o princípio da revolução industrial, a queima de combustível tem sido o principal acionador das muitas rodas que começaram a girar. Seja numa locomotiva, a vapor ou diesel, em automóvel movido a pistão ou em aeroplano a jato; seja diretamente como no caso de foguete espacial ou indiretamente como no movimento de um exaustor de cozinha (cuja energia elétrica vem do turbo-gerador da companhia de fôrça e luz), sempre poderíamos remontar a fonte de energia a um mecanismo qualquer

que queima combustível (óleo cru, gás natural, gasolina, carvão) com oxigênio do ar. A célula combustível põe de lado, dràsticamente, todos êsses processos reverenciados pelo tempo.

Tôdas as máquinas convencionais estão sujeitas à limitação do que os engenheiros chamam de "ciclo de eficiência de Carnot". Nicolas Leonard Sadi Carnot, cientista francês, demonstrou que, mesmo sob condições ideais — o ciclo de Carnot — a máquina movida pelo calor não pode converter em energia mecânica tôda a energia térmica que recebeu.

No ciclo de Carnot a máquina recebe energia térmica de uma fonte em alta temperatura, tal como o jato quente de uma caldeira ou a combustão de gasolina no cilindro de um motor de pistão. Ela converte parte da energia em trabalho mecânico — por exemplo, com o vapor ou gás de combustão, impelir um pistão ou uma lâmina de turbina. Mas, para que o processo se mantenha, é preciso que o motor rejeite o resto de energia para um escoadouro" de calor ou corpo frio.

É esta a razão pela qual os automóveis em sua maioria precisam de resfriamento a água e radiadores, os aeroplanos e alguns automóveis precisam de resfriamento a ar, e as turbinas a vapor necessitam de condensadores resfriados a água. Pois Carnot demonstrou que, para aumentar a eficiência de qualquer máquina térmica é preciso aumentar a diferença de temperatura entre a fonte e o escoadouro de calor. As máquinas térmicas geralmente têm apenas trinta por cento de eficiência, em vista das restrições inerentes a êsse ciclo de Carnot.

A célula combustível não está sujeita a esse ciclo. Já se constatou eficiência de 60% e mais. Daí o grande interêsse dêsse produto subsidiário da era espacial.

Pode-se apostar que as células combustíveis vão encontrar aceitação crescente quer no espaço quer na terra.

Recentemente se exibiu um trator com células combustíveis. Já se estão experimentando células combustíveis a óleo e gás natural em vez de hidrogênio. Talvez seja cedo para predizer o fim iminente do motor convencional, porém muitos acreditam estarem contados os dias de todo motor limitado pelo ciclo de Carnot.

Fontes Espaciais de Fôrça Elétrica

As células combustíveis, como as que descrevemos no Capítulo 18, fizeram sua estréia espacial no terceiro vôo Gemini em 23 de março de 1965. Uma única célula combustível de hidrogênio substituiu algumas das baterias de prata-zinco que a espaçonave Gemini de dois lugares usara. Elas também fornecerão eletricidade à astronave Apolo que irá à Lua com três tripulantes.

Os veículos espaciais, tanto os propelidos a foguete como os de vôo rasante, precisam de energia elétrica para tôda sorte de

mecanismos vitais: sistemas salva-vidas, rádio, contrôle de propulsão, comando, instrumentos, e mais ainda. Também haverá necessidade de fôrça elétrica numa base lunar.

O avanço da tecnologia oferece escolha cada vez mais ampla de fontes de energia elétrica para o espaço — baterias químicas, células combustíveis, células solares, baterias atômicas e reatores nucleares, para só mencionar os mais importantes. Qual dêsses sistemas escolherá um projetista de veículo espacial e por quê?

As *baterias químicas* têm sido um sustentáculo desde o princípio da era espacial. Deram energia aos primeiros satélites — os dois primeiros Sputniks da Rússia e o nosso Explorer I. Tôdas as nossas espaçonaves tripuladas dos vôos Mercury e Gemini dependeram delas. As baterias químicas ainda são soberanas como fonte de energia elétrica para foguetes de lançamento que precisam vários quilowatts de potência, embora por uns poucos minutos.

Tipos mais avançados, como as baterias de prata-zinco e níquel-cádmio, dão mais potência por menos pêso do que as baterias mais baratas, de chumbo, do nosso automóvel. Contudo, as baterias químicas são proibitivamente pesadas para uso prolongado (mais do que pouquíssimas semanas) sem recarga.

As *células combustíveis,* embora em princípio relacionadas às baterias químicas, representam transformação radical. A célula combustível é dotada de uma espécie de tanque, que é abastecido com hidrogênio e oxigênio gasosos. O que sai é corrente elétrica — até um quilowatt ou dois nos modelos atuais para espaçonaves — e um pouco de água.

A célula combustível requer assim um suprimento de hidrogênio e oxigênio, transportados sob forma de gases em alta pressão ou de líquido — e só pode operar enquanto dura o suprimento.

Contudo, para veículos espaciais tripulados, as atrações da célula combustível são aumentadas por ser potável a água por ela produzida. Os astronautas não dispensam de modo algum a água para beber. Ela bem pode ser levada na forma de hidrogênio e oxigênio que, combinando-se na célula combustível, geram eletricidade e provêem ainda a água potável necessária.

As células combustíveis também têm seus atrativos para os veículos que serão usados na superfície lunar. Elas tornariam os "carros da Lua" independentes do brilho do Sol, indispensável

às células solares, e livres dos problemas de radiação da fôrça nuclear. A água produzida pelo dia de trabalho das células poderia ser reconvertida em hidrogênio e oxigênio num pôsto fixo de eletrólise movido a energia solar ou nuclear.

As *células solares* que compõem uma bateria solar, têm duração teòricamente ilimitada. São pequenas contas de silício puro cujas superfícies externas foram contaminadas pela exposição a vapor de boro. A luz do sol, incidindo nessas células, é diretamente convertida em corrente. Vejamos como isso funciona.

A menor unidade à qual a eletricidade pode ser reduzida é o *elétron.* Anàlogamente, a energia luminosa não pode ser subdividida além de uma unidade chamada *fóton.*

Um fóton de luz, incidindo na superfície de silício contaminada de boro, é absorvido dentro de uma camada cuja espessura não vai além de 1/40.000 de centímetro. Sua absorção leva, invariàvelmente, ao deslocamento de um elétron. Ora, acontece que na camada que contém boro, os elétrons livres são poucos e bem separados entre si, ao passo que nas camadas de silício mais fundas há enorme quantidade dêles. Por isso, quando um elétron deslocado recebe energia suficiente para expulsá-lo da camada contaminada com boro para a região de silício puro, poderá livremente entrar num circuito externo, aí ajudando no fornecimento de fôrça.

As baterias solares produzem apenas uns poucos watts de fôrça elétrica por dez decímetros quadrados da superfície do painel. Para alimentar transmissores a alta potência para comunicações no espaço mais profundo, elas geralmente armazenam sua energia, fraca mas constante, numa bateria química capaz de descargas curtas de alta potência.

O satélite Vanguard I, lançado em 1958, foi o primeiro a empregar energia de baterias solares. Ainda está funcionando.

A fôrça de saída das instalações de células solares cresceu, dos 0,06 watts de potência do Vanguard I, aos 200 watts do nosso Mariner IV dirigido a Marte. Para mais do que isso elas se tornariam um trambolho, pois um decímetro quadrado de células solares não fornece mais do que uns poucos watts. Para evitar essa desvantagem, os fabricantes estão fazendo experiências com células solares em forma de "fitas" que podem ser enroladas em tôrno das enormes estruturas dos veículos espaciais.

Muitos veículos espaciais orbitais passam pela sombra da terra com intervalos regulares, mas precisam de suprimento contínuo de energia. Por isso as células solares precisam ser suplementadas por baterias químicas recarregáveis. Ao Sol, as baterias solares satisfazem as exigências de fôrça e também carregam as baterias químicas; na sombra as baterias químicas, temporàriamente, tomam a si a tarefa.

As *baterias atômicas* aproveitam o calor fornecido pela desintegração natural de vários isótopos radioativos, como o plutônio 238, o cúrio 244 ou o prométio 147. Pares térmicos transformam êsse calor em corrente elétrica.

Uma bateria atômica chamada SNAP-9A fornece os vinte watts de energia de um satélite da marinha presentemente em órbita. SNAP é a sigla de "Sistemas para Potência Auxiliar Nuclear". Alguns dêsses sistemas estão sendo estudados em conjunto pela NASA e a divisão da AEC para uso espacial.

Essas baterias de isótopos radioativos podem fornecer até várias centenas de watts de eletricidade por períodos bem superiores a um ano. Dentro dêsses limites elas já competem com as células solares.

Além de calor, as baterias atômicas emitem, inevitàvelmente, certa quantidade de radiação indesejável, e é preciso que haja um escudo protetor não só da tripulação mas também dos instrumentos mais sensíveis a essa radiação. Há ainda o risco potencial de espalhamento de material radioativo durante a reentrada na atmosfera, quando a espaçonave se desfaz. Isso pode elevar o nível de radiação de uma determinada superfície. Alguns isótopos são menos perigosos do que outros, e seu emprêgo torna mínimo o risco.

Os *reatores nucleares* fornecem energia, não a partir de isótopos radioativos de desintegração espontânea e invariável, mas de uma reação em cadeia controlável. Isso requer uma quantidade de material físsil, como o urânio 235, um pouco superior a uma certa massa "crítica". Assim, não teria sentido empregar um reator quando se necessita apenas de uns poucos watts de potência, mas o caso torna-se diferente se houver necessidade de quilowatts ou mesmo de centenas ou milhares de quilowatts.

Por exemplo, os reatores nucleares serão empregados nas futuras estações satélites de televisão que, pairando numa órbita "sin-

crônica", poderão irradiar programas de TV diretamente para os receptores domésticos.

Êles serão também usados em veículos planetários tripulados, nos quais as viagens longas demandarão maior confôrto e também maior potência de radiotransmissão do que a necessária em vôos em tôrno da Terra ou à Lua.

E, falando da Lua, não há dúvida de que os reatores nucleares serão ali empregados para fornecer energia elétrica às futuras bases lunares.

O primeiro reator nuclear no espaço, um SNAP-10A de cem quilos, foi pôsto em órbita a título experimental em 1965. Êsse vôo demonstrou a possibilidade de lançamento com foguete, e também da ligação e do funcionamento dessa verdadeira usina de fôrça após sua entrada em órbita.

No SNAP-10A, elementos termoelétricos transformam em eletricidade o calor proveniente da reação nuclear em cadeia, e dêsse modo não há partes móveis. Embora o SNAP-10A forneça apenas quinhentos watts, o mesmo princípio termoelétrico pode ser adotado para produzir até cêrca de vinte quilowatts. Reatores nucleares de maior potência, destinados ao espaço, deverão aquecer vapor d'água ou outro gás, como o vapor de mercúrio, que movimentará um turbogerador.

A quantidade de energia e o tempo que esta deverá durar são, òbviamente, problemas que influirão na escolha do sistema espacial a usar. Há além disso uma importantíssima consideração. A fonte de energia deve ser de absoluta confiança. Nenhuma falha de qualquer elemento isolado poderá jamais acarretar a perda de todo o poder vital de um veículo espacial. Por essa razão, como as células solares, as baterias atômicas e células combustíveis só foram adotadas para uso espacial após provas exaustivas de seu funcionamento, o mesmo acontecerá com outras promissoras inovações em suprimento elétrico, que ainda se acham em fase experimental.

Breve... Barcas Espaciais

Em futuro não muito distante talvez possamos ver espaçonaves postas em órbita de modo diferente. Muitas serão levadas para o alto por veículos alados tripulados que, mais parecidos com

aeroplanos do que com foguetes, poderão mesmo decolar horizontalmente, em vez de na vertical como os foguetes. O mais importante dêsses originais veículos de lançamento é terem capacidade de retornar à Terra com segurança que lhes possibilite repetido uso.

Os vôos espaciais de hoje são ainda tremendamente dispendiosos. Um dos maiores responsáveis pelo encarecimento é o tamanho dos foguetes de lançamento necessários para pôr em órbita, ou além dela, veículos espaciais, tripulados ou não.

Até hoje todos os foguetes de lançamento têm sido veículos ou projéteis de um só tiro. Quer a espaçonave alcance ou não a órbita e realize o que se espera, o veículo de lançamento é invariàvelmente consumido no processo.

Mesmo com os nossos mais adiantados veículos de lançamento, ainda custa cêrca de quinhentos dólares colocar meio quilo de carga líquida em órbita. É forçoso reduzir dràsticamente êsse custo se quisermos aproveitar o tremendo potencial científico dos vôos espaciais, não só no que respeita a fins militares mas também em relação a serviços públicos. Um dos meios para isso reside no reaproveitamento dos veículos de lançamento.

Penso que poderemos esperar o advento de um veículo de lançamento reusável entre 1975 e 1980. Poderemos esperar que um tal veículo seja capaz de pelo menos cinqüenta ou cem vôos orbitais. Não há razão pela qual êle não pudesse fazer pelo menos um vôo semanal. Nessas condições, podemos esperar que o custo do transporte orbital caia dos presentes mil dólares por quilo a uns cinqüenta, ou até menos.

Creio, por motivos que explicarei mais tarde, que as necessidades de um modêlo adequado para a primeira geração de veículo de lançamento reusável sugerem a construção de espaçonave tripulada, capaz de transportar uns doze passageiros e cêrca de cinco toneladas de carga até uma órbita terrestre não elevada.

Imaginemos um avião do tamanho dos nossos grandes jatos de carreira. Será o primeiro estágio do veículo de lançamento reusável. Aninhado às suas costas está o segundo estágio — um avião menor em forma de planador, como os do projeto Dyna-Soar, hoje abandonado, ou das configurações do "corpo elevador" que estão sendo estudadas. Tanto o primeiro quanto o segundo estágios são tripulados — o primeiro por uma equipe de vôo e o segundo por tripulantes e passageiros, se houver algum.

O primeiro estágio pode ser acionado por foguetes a líquido ou por motores turbojato supersônicos. Caso se empregarem motores de foguete, êle poderá decolar verticalmente como um dos nossos atuais retropropelidos — ou ser lançado horizontalmente de uma catapulta. No caso de motores que necessitam de ar será indispensável o lançamento horizontal, tipo catapulta.

Um primeiro estágio impelido por foguete atingiria cêrca de Mach 6 antes de soltar o segundo estágio. Em seguida desceria às camadas mais densas da atmosfera, girando de 180 graus e diminuindo a velocidade. Na altitude e na velocidade apropriadas, arria-se um conjunto de motores a jato de carreira — até então retraídos para dentro do avião ou das suas asas — para levar o primeiro estágio de volta à base de lançamento. Enquanto isso, o segundo estágio, movido por foguete, entrou em órbita.

No caso de um primeiro estágio a ar, é provável que a separação de estágios ocorra em velocidade não superior a Mach 3. Para alcançar sua órbita a partir dessa velocidade inicial mais baixa, o segundo estágio, movido a foguetes, deverá levar mais combustível e, portanto, ser maior. Por outro lado, o primeiro estágio poderá volver à base com o mesmo conjunto de motores empregado na fase de retropropulsão.

Para o estágio orbital retornar à base de lançamento basta esperar que a terra gire. Exatamente como nos vôos Mercury e Gemini, a retromanobra em órbita deve ser iniciada quando a base de lançamento entra na área onde terminará o vôo de reentrada.

Um veículo de "transporte orbital", como êste, poderia servir, por exemplo, para levar e trazer tripulantes de estações orbitais e para reabastecer essas estações, além de executar grande variedade de outras missões espaciais.

Não há dificuldades insuperáveis em desenhar e desenvolver um veículo de lançamento reusável, tendo-se por base os atuais conhecimentos e a tecnologia de que dispomos. Não precisamos esperar por uma grande descoberta da pesquisa científica para conseguir um desenho muito atrativo. Por outro lado, se se decidisse esperar, e adiar o desenvolvimento de um veículo dêsses por alguns anos, os avanços da pesquisa sôbre meios e materiais de propulsão iriam indubitàvelmente habilitar-nos a uma concepção ainda melhor.

Muito trabalho altamente promissor se está realizando, por exemplo, com os materiais compostos chamados *whiskers*(*), diminutas fibras de um cristal só, de carbureto de silício ou óxido de alumínio, embutido em alumínio ou resina epóxi, as quais, muitas vêzes mais fortes que os melhores metais, possibilitam a construção de estruturas muito mais leves. Também parece provável, em vez de ter de optar entre propulsão, que precisa de ar, e foguete, criar um sistema de propulsão que na partida funcione como motor turbojato, depois se converta em jato-aríete(**) e, em velocidades quase orbitais, funcione como foguete puro, queimando seu combustível em ar liquefeito (fabricado êste último no próprio veículo durante a primeira parte da ascensão, a partir do ar que vai sendo recolhido). Um veículo de lançamento reusável propelido por sistema SCRAMLACE (Supersonic Combustion Ramjet Liquid Air Cicle Engine), do tipo que acabamos de descrever, teria a potência necessária para entrar em órbita sem separação de estágio e regressar à base de lançamento para outro vôo.

Se nos ativermos aos conceitos mais convencionais de dois estágios, baseados na tecnologia atual, as coisas se tornam comparáveis aos tão discutidos "SST", os "Supersonic Transport". Sem dúvida a competição continua e, com ela, os estudos sôbre refinamentos da aerodinâmica. Os progressos em motores continuarão a melhorar os aspectos econômicos dêsse futuro aeroplano supersônico, mas ninguém descrê da possibilidade básica do projeto.

Por outro lado, há diferença importante entre os dois projetos. Um sistema aéreo mundial, servido por jatos subsônicos, já existe. Os planejadores de mercado do SST sabem que, tão logo a primeira companhia aérea adote um transporte supersônico, operando em uma das rotas mais longas e concorridas, a competição forçará tôdas as outras companhias dêsse roteiro a fazer o mesmo. Assim, os planejadores podem prever claramente o volume potencial de vendas do SST — e êles têm base muito sólida para comparar o custo do desenvolvimento com o provável ou esperado custo de venda.

(*) bigode (como os de gato), suíças, em tradução lateral. (N.R.)
(**) *Ram-jet.* (N.R.)

Infelizmente, nossa bola de cristal não é tão clara quanto ao futuro volume de vendas de veículos espaciais de lançamento.

Não há dúvida de que há muito tráfego espacial. Entre 31 de janeiro de 1958 e 31 de março de 1965, os Estados Unidos lançaram no espaço nada menos de 287 foguetes, 222 dos quais bem sucedidos. Mas a carga útil dêsses foguetes variava de uns poucos quilos a mais de dez toneladas. As rotas espaciais iam das baixas, quase raspando as franjas mais altas da atmosfera terrestre, às interplanetárias, que roçam os planêtas vizinhos.

Antes de nos dispormos a gastar um bilhão de dólares ou mais para desenvolver um veículo de lançamento reusável precisamos estudar a possibilidade de atribuir-lhe versatilidade capaz de satisfazer pelo menos a maioria das nossas necessidades de transporte espacial durante a próxima década, ou pouco mais.

O exemplo de veículo de lançamento que descrevi mostra bem essa tendência para o desenho comum, e a razão disso é mais ou menos a que a seguir contamos.

Como os aviões de carreira, que não ganham dinheiro quando pousados, os veículos de lançamento devem ser mantidos em vôo — quanto mais, melhor.

Ora, temos razões para acreditar que o maior número de vôos espaciais — tripulados ou não — serão conduzidos em órbitas baixas em tôrno da Terra. Elas proporcionam melhores pontos de observação da Terra. E, quaisquer que sejam as desvantagens que possam ter em comparação com as órbitas sincrônicas, no que respeita a astronomia, astrofísica, meteorologia e outros trabalhos científicos, serão fàcilmente compensadas pela economia muito superior das órbitas baixas.

O tipo de "negócio" espacial além dessa capacidade de vôo a órbitas de pequena altitude e moderada carga útil dos veículos de lançamento reusáveis, não será muito na próxima década. Pois as missões muito mais exigentes, com carga útil bem maior ou destinadas a pontos muito afastados da Terra, e com veículos não recuperáveis, como o foguete Saturno V desenvolvido para o programa Apolo de descida na lua, deverão ter preferência.

III

SEGURANÇA NO ESPAÇO

Estas Espaçonaves dizem "Ai!"

Três satélites gigantes Pegasus, todos lançados durante 1965 e ainda trabalhando enquanto escrevo isto, estão preenchendo uma lacuna em nosso conhecimento acêrca do perigo que representam os asteróides para as nossas astronaves e astronautas.

Os satélites Pegasus transmitem as primeiras observações, de perto, jamais realizadas sôbre a abundância de partículas meteóricas que podem penetrar metal de 1/25 de centímetro de espessura.

Como a freqüência dessas partículas não é muito grande em comparação com as menores e menos penetrantes, uma contagem significativa em tempo razoável exigiria enorme área de coleta. Por isso, o Pegasus tem uma superfície detetora de meteoróides, em forma de asa de quase trinta metros de envergadura.

O que chamamos de "meteoróides" são fragmentos de matéria que cortam o espaço, de qualquer tamanho. Elas se tornam meteoros se entram em nossa atmosfera. Meteoritos são as partes de meteoros que conseguem chegar ao solo, sem ser consumidos. Os meteoróides variam de tamanho desde uma partícula de pó ("micrometeoróides") até um quarteirão de ruas, ou mais. Os maiores são raros e muito espaçados. Partículas pequenas demais

para penetrar a pele de um veículo espacial batem muitas vêzes por dia numa nave espacial do tamanho de um Gemini. Os que preocupam o projetista de veículos espaciais são os de tamanho médio.

Partículas de apenas alguns milésimos de grama, zunindo a trinta ou trinta e cinco quilômetros por segundo, podem furar o tanque ou a carcaça de uma espaçonave. Elas constituem risco positivo. Se furarem um tanque ou compartimento de gás, o resultado pode ser um vazamento sério ou talvez a ruptura explosiva de um tanque sob pressão. O calor proveniente do seu impacto pode incendiar certos propelentes ou os materiais depositados na atmosfera rica de oxigênio do compartimento da tripulação. Além disso, os meteoróides causam "lasqueamento" — ejeção de fragmentos da parede interna da espaçonave — que podem representar verdadeiros projéteis secundários, que põem em risco a tripulação e parte do equipamento da espaçonave. A NASA tem feito esforços definidos e dispendiosos para avaliar o risco dos meteoróides.

Antes da era espacial, a observação óptica das estrêlas cadentes já fornecera dados consideráveis sôbre a abundância de meteoróides, e muitos outros foram mais tarde obtidos graças ao radar. Mas êsses métodos só registravam meteoróides não inferiores a um miligrama.

Começando com o Explorer I, primeiro satélite dos E.U.A. montaram-se nas sondas espaciais mecanismos elétricos e microfones para registrar o impacto de poeira meteórica. Foi possível registrar o impacto de partículas de cêrca de um milionésimo de milionésimo (1/1.000.000.000.000) de grama. Mas as partes pròpriamente detetoras eram muito pequenas, apenas uns poucos centímetros quadrados, e portanto raramente atingidas por meteoróides de tamanho suficiente para interessar os construtores de veículos espaciais.

O Pegasus foi projetado para preencher o vazio de dados sôbre meteoróides entre um milésimo e dez milionésimos de grama. Para lançar os enormes Pegasus de 15.000 quilos, os foguetes Saturno I revelaram-se muito adequados. O Centro Marshall de Vôo Espacial da NASA, responsável pelo desenvolvimento do Saturno I, foi também encarregado do desenvolvimento das espaçonaves Pegasus.

As asas de um Pegasus, que se abrem na órbita, são recobertas dos dois lados com placas de alumínio que servem de alvo para meteoróides. Isso fornece uma área coletora total de mais de 180 metros quadrados – a área da casa de uma família grande. A maioria das placas de alumínio tem espessura de 1/25 de centímetro. Outras, a espessura de 1/50 e algumas 1/250. Isso possibilita ao Pegasus o registro de meteoróides de três diferentes podêres de penetração.

Os Pegasus têm um sistema eletrônico cuja função principal é dizer "Ai" cada vez que ocorre um impacto e dizê-lo de tal modo que o sinal recebido no solo possa ser inteligentemente interpretado. Sob cada placa de alumínio há um filme de plástico, uma de cujas faces é revestida com camada de cobre. Êsse sanduíche de alumínio-plástico-cobre forma um capacitor e é carregado com quarenta volts.

Cada vez que um meteoróide espeta o alumínio, material momentâneamente vaporizado pelo impacto fecha o circuito capacitor – e um sistema de memória registra o acontecido. Se a base terrestre o ordena o Pegasus lê todos os dados. Isso fornece o número dos meteoróides que furaram uma área conhecida de cada espessura em dado tempo.

Como os satélites Pegasus estão ainda coligindo dados, seus achados não se acham ainda completos. Contudo a NASA já publicou um mapa com sumário dos resultados de dez meses de trabalho.

De acôrdo com êsse sumário preliminar, os impactos num quadrado de 3 decímetros de lado, por ano, no exterior de uma nave espacial em órbita baixa será da ordem de:

7	para	lâminas	de	1/25	cm	de	espessura.
0,6	"	"	"	1/50	"	"	"
0,13	"	"	"	1/250	"	"	"

Pois bem, uma esfera intacta de três metros de diâmetro, com superfície de 56,5 metros quadrados, poderia suportar com segurança pressão interna de uma atmosfera, proporcionando ambiente terrestre para astronautas no espaço, se tivesse 1/25 cm de alumínio.

Mas os dados obtidos com o Pegasus indicam que ela seria atingida cêrca de quarenta vêzes por ano. Assim, essa espessura de

paredes iria expor a tripulação a sério risco meteórico durante vôos espaciais prolongados.

Felizmente as espaçonaves habilitadas à reentrada na atmosfera são saudàvelmente estofadas com protetores contra o calor, que reduzem muito o risco de penetração. Acontece que os veículos e estações espaciais sem possibilidades de reentrada estão sendo estudados para operações espaciais prolongadas. Então a proteção adequada contra meteoróides vai se tornando mais importante do que nunca. Com dados mais completos sôbre meteoróides, os engenheiros poderão determinar a "armadura" suficiente para reduzir o risco dos meteoros ao nível compatível com outros riscos que têm de ser aceitos.

A lacuna em nosso conhecimento não está ainda perfeitamente preenchida. Gostaríamos de saber qual a quantidade de meteoróides que podem atravessar fôlhas de alumínio de 1/10 e 1/4 de centímetro, números representativos de muitas estruturas de veículos espaciais. A NASA já anunciou que pretende atacar o problema dessa falha restante nos próximos anos. Cogita-se do emprêgo de satélites ainda maiores do que o Pegasus, ou um grande número de Pegasus do tamanho atual colocados em órbita ao mesmo tempo.

O Que É Preciso Para Sobreviver no Espaço

Para sobreviver no espaço exterior um astronauta deve ter equipamento adequado e suprimentos diferentes de comida e água. Êle requer:

> Cabina de espaçonave pressurizada, com meios para reabastecimento de oxigênio, remoção do bióxido de carbono e de cheiros e contrôle de temperatura e umidade.
>
> Assento de contôrno para as elevadas acelerações e desacelerações encontradas durante o lançamento, manobras de meio-percurso e reentrada.
>
> Vestimenta pressurizada para evitar perdas de pressão da cabina e, obrigatòriamente, para as eventuais saídas do astronauta para o espaço, se assim o exigir sua missão.
>
> Acomodações sanitárias de acôrdo com a duração da missão.

Alguma proteção contra radiação dependente do tempo e do perfil do vôo. Por exemplo: uma permanência prolongada nos Cinturões de Van Allen ou uma longa viagem interplanetária requerem mais proteção contra radiação do que um vôo em órbita de baixa altitude, que pode ser ràpidamente sustado em caso de uma protuberância solar perigosamente poderosa.

Para vôos muito prolongados no espaço mais externo é provável que haja necessidade de alguma movimentação do corpo. É bem possível que também se precise levar algum material esportivo para exercício, talvez o familiar conjunto de molas em espiral. Entre o pessoal médico espacial, as opiniões sôbre a condição de gravidade nula, inevitável durante os trechos de vôo sem motor de uma viagem espacial, ainda divergem em relação à capacidade de adaptação após longos períodos. Alguns acreditam que em tais condições haverá necessidade de um "ambiente de G artificial". Um esquema prevê cápsula separada de "recondicionamento", ligada por um cabo ao corpo principal da nave e girando lentamente em tôrno dela; nesta cápsula a fôrça centrífuga simularia a gravidade.

É muito interessante considerar a crescente necessidade de uma atmosfera artificial à medida que o astronauta vai atingindo altitudes cada vez mais altas. A pessoa média começa a sentir necessidade de aparelhamento salva-vidas acima de 5.000 metros. A esta altitude, juntamente com a diminuição da pressão atmosférica *total*, a pressão *parcial* do oxigênio do ar também cai tanto que os pulmões não podem absorver o suficiente. O resultado é a hipóxia ou deficiência de oxigênio no sangue. Respirar oxigênio puro (na mesma atmosfera total rarefeita) eleva a pressão parcial do oxigênio, e assim uma simples máscara dêsse gás constitui pronto remédio.

A uma altitude de 8.000 metros o corpo humano desprotegido enfrenta outra dificuldade. Nessa altitude a pressão atmosférica cai tanto que o nitrogênio dissolvido em nosso sangue começa a formar bôlhas. A física dêsse processo é idêntica à do que acontece quando abrimos, e com isso despressurizamos, uma garrafa de cerveja. Os efeitos, contudo, são decididamente piores. À medida que o fluxo de sangue impele as bôlhas de nitrogênio através do corpo, algumas podem ficar encalhadas nos cantos como os

das juntas do joelho ou cotovêlo. Com a diminuição da pressão, as bôlhas prêsas expandem-se e podem bloquear uma artéria. Isso causa uma aeroembolia muito dolorosa (mal de caixão ou, em inglês, "bends"). Assim além de um limite de 8.000 metros, mais ou menos, há necessidade de cabinas de pressão ou de pelo menos pressão parcial.

A dezoito quilômetros de altitude encontramos outro marco biológico. Aí, a pressão atmosférica é tão baixa como as pressões parciais combinadas de vapor de água e bióxido de carbono, duas substâncias sempre presentes em nossos pulmões. Por mais oxigênio puro que tentemos respirar, os sacos de ar dos pulmões estão agora cheios dessa mistura de ar e bióxido de carbono, e o oxigênio não pode entrar na corrente sanguínea. Esta condição é anóxia.

Não muito mais acima, o corpo desprotegido, torturado, pràticamente ferveria. A uns vinte quilômetros o ar é tão rarefeito que o ponto de ebulição da parte líquida de nosso corpo cai a 37,8 graus, quase a temperatura do nosso corpo. As bôlhas então se formam onde quer que os líquidos do corpo estejam abertamente expostos em áreas superficiais, como as membranas que revestem a bôca e os olhos.

Embora todos êsses fatos relativos aos crescentes riscos biológicos tenham tremenda significação prática na aviação, para as espaçonaves sua importância é bem limitada. O sistema salva-vidas de uma espaçonave deve ser projetado tendo em vista prolongadas permanências em espaço exterior completamente desprovido de ar. Em menos de um minuto um foguete tripulado sai da atmosfera inferior, e dêsse modo não há oportunidade de tirar partido das condições menos exigentes que nela prevalecem. Portanto, não importa muito, ao construtor, se a nave está a cinco ou cinqüenta quilômetros de altitude. Êle deve prover condições adequadas à vida nas situações de maior exigência — o vácuo exterior perfeito.

Devemos distinguir três tipos diferentes de sistemas salva-vidas: aberto, fechado e um misto, chamado de semifechado.

Um sistema aberto limita-se a fornecer ar fresco ou oxigênio a uma máscara respiratória e expelir o ar usado para fora. Não faz nenhuma tentativa para reter e recircular o oxigênio não usado — ou os setenta e nove por cento de nitrogênio do ar exalado. O *aqualung* é exemplo de sistema salva-vidas aberto, que emprega

ar. A máscara de oxigênio das naves não pressurizadas é exemplo de sistema aberto que emprega oxigênio puro.

Um sistema salva-vidas fechado procura repetir, em forma capsular, o maravilhoso e completo sistema "ecológico" que a natureza processa na Terra: o bióxido de carbono que os sêres vivos exalam, é absorvido pelas plantas, ajudando-as no crescimento e desenvolvimento através da intrincada fotossíntese — o processo fundamental da vida na Terra. A energia luminosa do sol converte o bióxido de carbono em carboidratos essenciais às plantas, ao mesmo tempo que liberta oxigênio no ar. Os sêres vivos respiram êsse oxigênio, comem as plantas e os seus frutos, enquanto o refugo de seus corpos fertiliza o solo onde as plantas crescem.

Promissoras tentativas têm sido feitas para repetir o grande processo da natureza em laboratório. A maioria dos pesquisadores emprega certos tipos de algas, como plantas do ciclo ecológico.

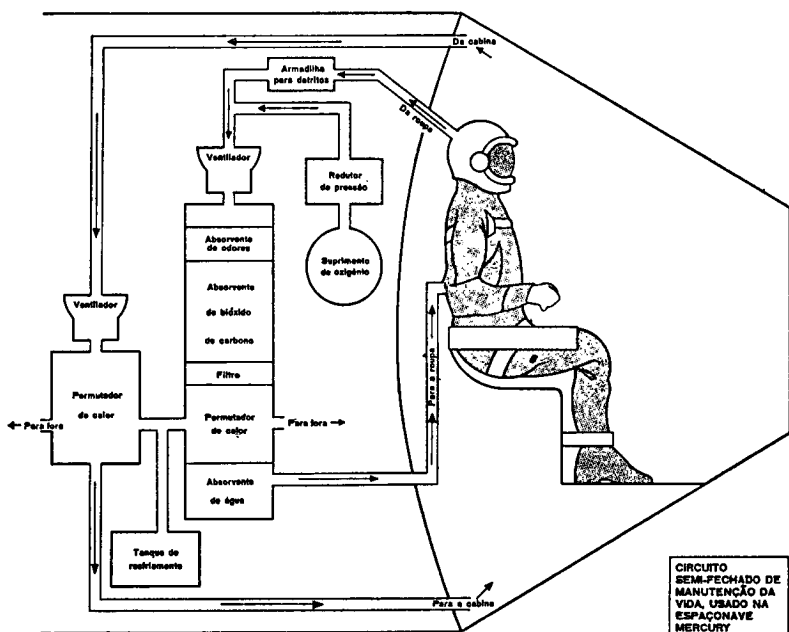
Òbviamente, a grande vantagem do sistema aberto de salva-vidas repousa na sua simplicidade. Mas é muito desperdiçador, e o pêso de ar ou oxigênio não utilizado, que é assoprado para fora torna-o proibitivo para missões de mais de algumas horas.

O sistema fechado, por sua vez, é complicado e relativamente pesado. Mas é ideal para períodos longos porque põe o Sol a trabalhar, habilitando-nos a aproveitar pràticamente todos desperdícios.

É provável que tais sistemas fechados sejam empregados em expedições interplanetárias e em bases permanentes na Lua.

Para os vôos de vários dias da astronave Mercury foi escolhido um sistema semifechado com atmosfera de oxigênio puro. Êsse sistema será melhor explicado com ajuda do esbôço (baseado numa publicação do fabricante, Garrett Corp., de Los Angeles.)

Como se vê, há dois sistemas quase independentes de ciclos de recirculação — para a cabina pressurizada e para a vestimenta espacial pressurizada. Trocadores de calor, inseridos em ambos os ciclos, dissipam o calor gerado pelo próprio astronauta e pelo aparelhamento elétrico. Um suprimento de oxigênio em forma gasosa a 3.500 quilos de pressão fornece o oxigênio na mesma proporção em que um absorvente remove o bióxido de carbono.

Êsse sistema mostrou-se perfeitamente adequado para os vôos de limitada duração do Mercury. Muitos especialistas médicos

acreditam, contudo, que para vôos de maior duração será necessário substituir o sistema semifechado de oxigênio por um semifechado de ar, isto é, um sistema em que o oxigênio seja diluído com nitrogênio ou outros gases inertes. De acôrdo com relatórios soviéticos, todos os Vostok tripulados empregaram sistemas semifechados de ar.

Vencendo os Perigos do Vôo Espacial Tripulado

Já me perguntaram quais os momentos mais perigosos do vôo espacial tripulado. Um leigo pode esperar resposta melodramática. Os construtores de veículos espaciais e os planejadores de missões porfiam exatamente pelo oposto. Procuram armar-se contra o perigo, de modo que nenhuma circunstância ou situação do vôo espacial tripulado possa ser apontada como particularmente perigosa quer para o astronauta quer para sua missão.

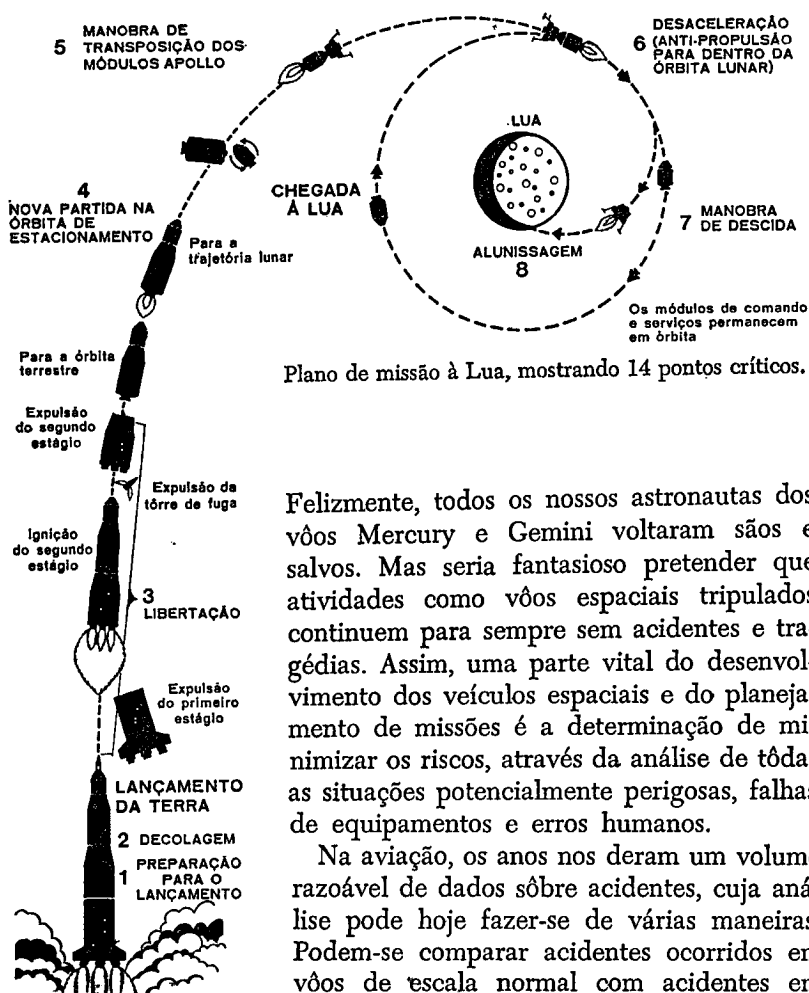
É verdade que há eventos críticos, cada um dos quais potencialmente pode significar desastre. Numa missão Apolo de descida na Lua, êsses momentos críticos abrangerão:

1. Preparações para o lançamento.
2. Decolagem.
3. Preparo da expulsão dos estágios de foguete extintos e ignição do imediatamente superior.
4. Partida da órbita de estacionamento, em volta da Terra, para a Lua.
5. Separação e transposição do Módulo de Comando e Serviço (CSM) do Apolo, juntando-o ao Módulo de Alunagem (LM), bem como a subseqüente separação do terçeiro estágio do Saturno V, após sua extinção.
6. Contra-retropropulsão (diminuição da velocidade por foguetes dirigidos para trás) dentro da órbita lunar.
7. Manobra de descida do LM.
8. Batida no solo da Lua.
9. Decolagem da Lua.
10. Encontro do LM com o CSM em órbita lunar.
11. Partida da órbita lunar para voltar à Terra.
12. Reentrada na atmosfera terrestre.
13. Seqüência da abertura do pára-queda.
14. Recuperação no mar.

Por métodos de que falaremos mais adiante, os perigos de tôdas essas situações podem ser meticulosamente ponderados e reduzidos ao mínimo. As precauções resultantes visarão a assegurar ao Apolo uma missão bem sucedida do princípio ao fim. Mesmo que esta falhe, as precauções tomadas trarão de volta os astronautas, sãos e salvos.

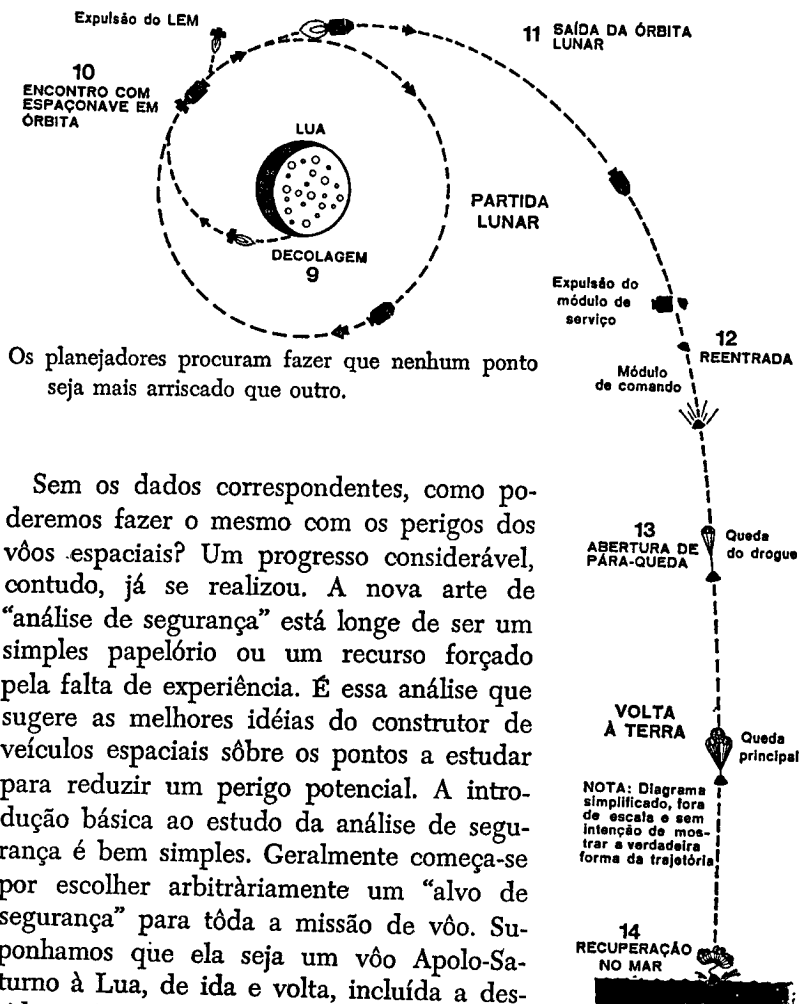
Suponha-se, por exemplo, que durante o vôo em órbita em tômo da Lua, antes de alunagem, a tripulação do Apolo perceba que a pressão do tanque do sistema de propulsão do módulo de serviço está falhando, e que ela não poderá dar nova partida nos motores para o vôo de volta à Terra.

Em tal situação êles poderão decidir o abandono da tentativa de descida na Lua e, em vez disso, usar a fôrça propulsora do Módulo Lunar para levá-los para fora da órbita da Lua e a caminho da Terra. Essa decisão naturalmente redundaria em sucesso apenas parcial da missão, mas daria à tripulação valiosa oportunidade de sobreviver.

Para uma apreciação geral dos perigos dos vôos espaciais não temos até agora uma estatística de acidentes que possa guiar-nos.

Plano de missão à Lua, mostrando 14 pontos críticos.

Felizmente, todos os nossos astronautas dos vôos Mercury e Gemini voltaram sãos e salvos. Mas seria fantasioso pretender que atividades como vôos espaciais tripulados continuem para sempre sem acidentes e tragédias. Assim, uma parte vital do desenvolvimento dos veículos espaciais e do planejamento de missões é a determinação de minimizar os riscos, através da análise de tôdas as situações potencialmente perigosas, falhas de equipamentos e erros humanos.

Na aviação, os anos nos deram um volume razoável de dados sôbre acidentes, cuja análise pode hoje fazer-se de várias maneiras. Podem-se comparar acidentes ocorridos em vôos de escala normal com acidentes em vôos não escalados dos aviões de carreira e de outras companhias comerciais, da avião militar e particular. As causas de acidente têm sido reduzidas a casos de falha de equipamento (como defeito no motor ou fogo a bordo) e erros de pilôto (incluindo-se navegação deficiente e arriscar-se sem preparo em tempo desfavorável). Também já foram exaustivamente analisadas as condições de vôo na ocasião de acidente, partidas, aterrissagens, vôos em condições de baixa ou alta visibilidade, ar turbulento ou sereno, geada, tempestades, etc.

Os planejadores procuram fazer que nenhum ponto seja mais arriscado que outro.

Sem os dados correspondentes, como poderemos fazer o mesmo com os perigos dos vôos espaciais? Um progresso considerável, contudo, já se realizou. A nova arte de "análise de segurança" está longe de ser um simples papelório ou um recurso forçado pela falta de experiência. É essa análise que sugere as melhores idéias do construtor de veículos espaciais sôbre os pontos a estudar para reduzir um perigo potencial. A introdução básica ao estudo da análise de segurança é bem simples. Geralmente começa-se por escolher arbitràriamente um "alvo de segurança" para tôda a missão de vôo. Suponhamos que ela seja um vôo Apolo-Saturno à Lua, de ida e volta, incluída a descida na Lua. Suponhamos — o número é apenas um exemplo — que estabeleçamos um alvo de 90% de segurança para tôda a missão, incluindo-se a volta à Terra. Isso quer dizer que nove, em dez tentativas, devem ser bem sucedidas.

Fracionemos agora êsse alvo de segurança geral pelos três estágios de propulsão, o estágio de comando do veículo de lançamento do Saturno V e os três módulos da espaçonave Apolo adaptados ao nariz do Saturno V. Atribuamos — ainda aqui, ape-

nas para exemplificar – que requisitos de segurança de noventa e nove por cento a *cada um* dêsses sete elementos de todo o veículo espacial.

De acôrdo com as leis da probabilidade, a segurança total do conjunto que compõe o veículo espacial será o produto de 0,99 por si próprio sete vêzes ($0{,}99^7$) – o que dá 0,93, ou 93 por cento. Isso excede de três por cento nosso alvo geral, o que poderemos atribuir a riscos estranhos ao equipamento, tais como terreno impróprio para a descida na Lua ou êrro de pilotagem durante o encontro em órbita lunar.

Podemos agora passar à etapa seguinte e verificar se os estágios do retropropulsor e os módulos da espaçonave realmente apresentam a segurança de 99 por cento dêles exigida. Isso demanda "verificação de qualidade" para todos os componentes críticos de estágios e módulos, e em condições de ambiente mais severas do que as do vôo real de um veículo espacial, antes que êsses componentes sejam admitidos no conjunto. Os testes são aplicados não a partes de um veículo espacial mas a peças iguais da mesma linha de fabricação.

Muitas vêzes êsse processo demonstra que certas partes de um estágio simplesmente não podem ser fabricadas com a segurança capaz de passar por êsses severos testes. Invariàvelmente a resposta implica redundância – provimento de um componente de refôrço que pode substituir a peça, caso esta falhe.

Componentes de redundância não são nada de novo em engenharia. Nosso carro tem dois faróis para o caso de um dêles falhar. Os grandes aviões têm dois ou mais motores e vários rádios independentes. Nos vôos espaciais tripulados, onde as exigências de perfeição chegaram a um nível jamais atingido, a redundância de provisão chegou a tornar-se arte altamente sofisticada.

Sempre que aconselhável e possível, o projeto Apolo provê redundância não só de componentes, mas também de opções alternativas de processos operacionais. Assim a navegação de meio-percurso entre a Terra e a Lua pode ser efetuada por navegação astronômica de bordo da astronave, ou rastreamento do solo por meio de radar e rádio. O salva-vidas pode ser o sistema de pressurização do compartimento dos tripulantes ou, se êste falhar, a veste espacial do astronauta.

Geralmente a distribuição de taxas de segurança é um jôgo realizado várias vêzes antes que os algarismos sejam finalmente aceitos. Quanto mais alto seja o alvo estabelecido, maior será o pêso e a complexidade do sistema, até o ponto de impedir a obtenção de maiores vantagens.

Os requisitos de segurança para a sobrevivência da tripulação e para o sucesso das missões não são idênticos. Por exemplo: se o veículo de lançamento apresentar um defeito sério durante a ascensão com foguete, a missão estará irremediàvelmente perdida. Mas será ainda necessário habilitar a tripulação e interromper a subida e voltar à superfície terrestre. Pode variar muito a segurança à espera de vários modos de interromper uma missão de vôo espacial.

Depois de tomadas tôdas as precauções humanamente possíveis, quaisquer riscos que possam aparecer num vôo espacial tripulado resultarão da complexidade geral das missões espaciais tripuladas e dos veículos necessários para realizá-las. Depois de dito e feito tudo, ainda assim deveremos aceitar que, cada vez que um veículo espacial é lançado, há centenas de milhares de pessoas não-tão-perfeitas envolvidas na ação.

Desde a aurora da era espacial muitas pessoas ativas do nosso programa espacial nacional sofreram acidentes, quer de trânsito quer domésticos. Mesmo alguns dos nossos astronautas não foram poupados. Assim, numa apreciação geral dos riscos de uma viagem à Lua não poderíamos absolutamente desprezar o perigo das viagens dos astronautas às suas estações de treino e o passeio final de automóvel em direção à plataforma de lançamento.

Podem os Astronautas Saltar da Nave e Viver?

Há ocasiões em que um astronauta em perigo pode saltar de pára-queda, mas isso depende da situação. É óbvio que, se estiver numa órbita em tômo da Terra, não lhe será possível simplesmente abandonar a astronave avariada e conseguir viver. Equipado apenas com a veste espacial e uma pistola de reação, que possibilita "andar"no espaço, êle não poderá escapar da órbita e nem esperar sobreviver à esbraseante reentrada na atmosfera sem a proteção de cápsula e escudo contra o calor.

Por outro lado, um salto durante os primeiros trinta ou quarenta segundos da ascensão do seu foguete retropropulsor causaria impacto não mais violento do que o choque aerodinâmico de um salto de pára-quedas de um avião veloz.

Em razão do largo espectro de condições de vôo encontradas durante uma missão típica orbital, os construtores do nosso primeiro veículo espacial tripulado, a cápsula Mercury, decidiram observar a regra fundamental de não sair da astronave, "aconteça o que acontecer". Em vez de estudar meios para que o astronauta se atire a si próprio num meio que poderá ser quase ou inapelàvelmente letal, êles preferem dotar a astronave de todos os meios concebíveis para trazê-la à Terra intacta e com o astronauta são e salvo dentro dela. Em contraste, no projeto Gemini os astronautas podem ejetar-se no espaço durante as primeiras partes da fase de lançamento (Ver, no Capítulo 25, "Métodos de Interrupção para Astronautas em Perigo").

No caso de súbita emergência durante a fase de lançamento — a ascensão por meio de foguete até a órbita — o requisito principal para segura recuperação da cápsula é um mecanismo capaz de separá-la ràpidamente do foguete retropropulsor.

No Projeto Mercury êsse mecanismo era uma Tôrre de Fuga de Lançamento, que se estendia para a frente no tôpo da cápsula, com poderoso foguete de fuga na ponta, movido a combustível sólido de combustão rápida. Ativado pelo astronauta, o foguete de fuga dispararia, ao mesmo tempo que uma série de explosões sucessivas destruiriam a ligação entre êle e a cápsula. Simultâneamente, os motores Atlas desligar-se-iam e o foguete de fuga arremessaria a cápsula e o seu ocupante para longe do foguete, com um impulso brutal de 20 vêzes a gravidade terrestre. O propósito principal dêsse foguete de fuga era estabelecer uma segura distância, tão rápido quanto possível, entre a cápsula e o foguete avariado que, como um avião a jato atingido por fogo inimigo, poderia explodir a qualquer instante. No caso de incêndio perigoso enquanto o veículo de lançamento estivesse ainda na plataforma, o foguete de fuga Mercury era suficientemente poderoso para levar o Atlas até a uma altitude segura para a abertura do pára-quedas.

Cêrca de dois minutos e meio após a separação, já abandonados os dois motores Atlas *retropropulsores* e continuando o vôo à fôrça de motores de *sustentação,* a Tôrre de Fuga de Lança-

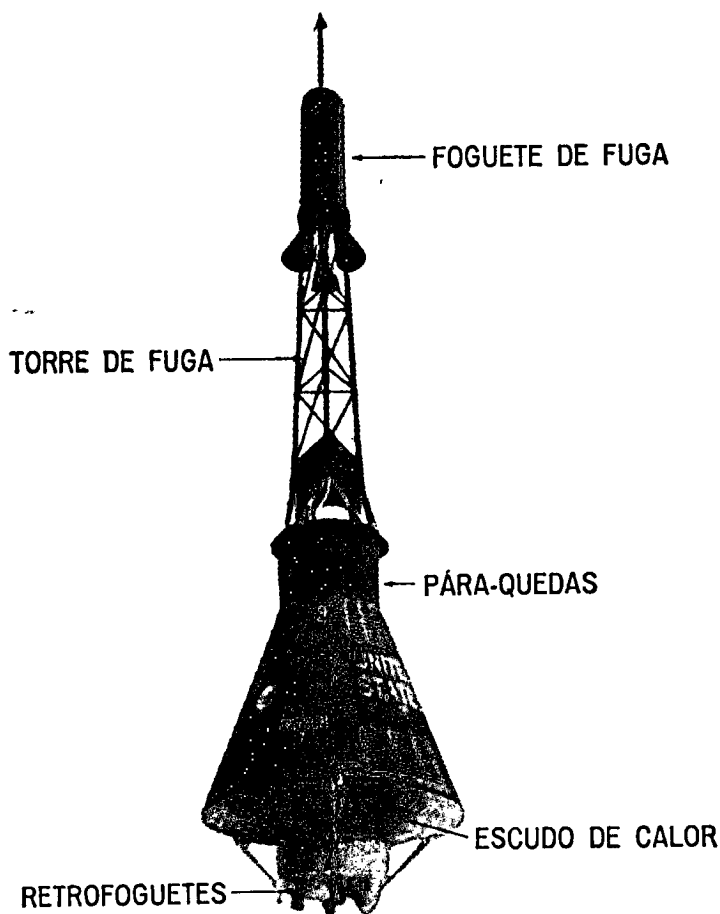
mento é expelida a jato. O conjunto Mercury-Atlas já se elevou, então, acima da atmosfera sensível ou perceptível, e uma falha no complexo sistema de contrôle do Atlas não significaria rompimento da estrutura e conseqüente explosão. Também as fôrças aerodinâmicas, no momento de uma separação de emergência, já se tornaram desprezíveis.

Como resultado, a separação pode agora ser efetuada pelo simples desligamento do motor Atlas de manutenção e o suave afastamento da cápsula, para longe do Atlas, com a ajuda de um conjunto de foguetes "posígrados"(*) de pequena potência. Como a espaçonave não atingiu ainda velocidade orbital, logo cairá de volta nas camadas mais densas da atmosfera. Será necessário então que o astronauta gire a sua cápsula de modo a fazer que o seu rombudo escudo de calor enfrente o ar veloz que começa a aquecer a cápsula. Com isso êle estará em condições para segura reentrada.

Cêrca de cinco minutos após a decolagem, e na ausência de qualquer emergência durante a fase de ascensão, o sistema Atlas-Mercury entra em órbita. Imediatamente a cápsula é separada do seu foguete e girada. Isso também a coloca em posição para segura reentrada.

Mas, ao passo que a reentrada na atmosfera é conseqüência automática da interrupção do impulso do Atlas em razão de emergência em velocidade *suborbital*, a volta à atmosfera a partir de um vôo *orbital* sempre requer manobra separada de foguetes dirigidos para trás, reduzindo a velocidade orbital inicial. A fôrça necessária para essa manobra é fornecida ao foguete pelo chamado bloco traseiro, ligado ao escudo de calor da cápsula Mercury — o mesmo bloco traseiro que normalmente termina o vôo orbital.

Assim, a descida de emergência a partir de uma órbita é simplesmente o fim prematuro do plano original de vôo.

(*) *"Posigrade"*. (N.R.)

A cápsula Mercury proporciona ao astronauta meios como êste para sair da nave ou encerrar prematuramente a órbita.

Métodos de Interrupção de vôo para Astronautas em Perigo

Quando o perigo atinge uma espaçonave tripulada ainda na "fase de lançamento" entre a Terra e a órbita, o importante é trazer o astronauta de volta à Terra, segura e ràpidamente. Vários modos para fazê-lo já foram estudados durante o nosso programa

espacial. Entre êles há notáveis diferenças, quer na mecânica do método de fuga, quer na forma de engatilhar o seu funcionamento — como demonstra a evolução do processo de fuga nos projetos sucessivos dos Mercury, Gemini e Apolo.

Durante as preparações para o lançamento e os primeiros cinqüenta ou sessenta segundos de um vôo tripulado ainda é possível o emprêgo de assentos ejetáveis como os de aviões militares. Nos Gemini existem realmente êsse dispositivo de fuga.

A altas velocidades, porém, a ejeção na corrente de ar está fora de questão. E em velocidades quase orbitais, embora a fôrça da corrente de ar amaine à medida que o veículo de lançamento vai superando a atmosfera, o aquecimento da reentrada apresenta outro obstáculo insuperável à queda desprotegida.

Por essas razões os processos de emergência para astronautas durante a fase de lançamento baseiam-se todos na regra fundamental: permanecer na espaçonave, aconteça o que acontecer, e descer com ela. A única exceção é a fuga pela ejeção de assentos dentro do primeiro minuto do lançamento de um Gemini.

A cápsula Mercury para um tripulante e a nossa nova Apolo para três não têm absolutamente assentos ejetáveis. No caso de dificuldades sérias durante a fase de ascensão através da atmosfera, um poderoso foguete que emprega combustível sólido de rápida combustão atira a cápsula tripulada para longe do foguete avariado, que pode explodir. Daí até ao solo os pára-quedas amortecem a queda da astronave com os seus tripulantes.

Também os astronautas da Gemini devem permanecer em suas naves caso o enguiço apareça após o primeiro minuto de vôo. O disparo simultâneo dos seus foguetes dirigidos para trás (mais tarde os empurradores, "thrusters") separa a cápsula, com dois tripulantes, do foguete que cai, já desligado, e leva-a até ao solo.

Quando um veículo de lançamento de vários estágios decola de sua plataforma e leva a cápsula tripulada, em sua ponta, até à órbita em poucos minutos, grande número de sistemas altamente complexos são ligados, desligados e destacados em rápida seqüência. Os enguiços que aparecem durante a fase de lançamento geralmente são sérios. Em certos casos podem mesmo ser tão rápidos que pode não haver tempo para que os astronautas consultem o painel de instrumentos e tomem uma decisão. A interrupção automática do vôo parece ser a resposta única nesses casos. E no entanto ela não é muito bem aceita pelos astronautas.

O programa Mercury usou realmente um sistema de segurança inteiramente automático para a tripulação. Sintomas de iminente enguiço eram percebidos por um sistema eletrônico que interrompia automàticamente o vôo. Os motores de retropropulsão seriam desligados, a cápsula separada, e ligado o foguete de fuga para arremessá-la a distância segura. Isso por sua vez dispararia outros mecanismos, como ejeção da tôrre de fuga e abertura do pára-quedas.

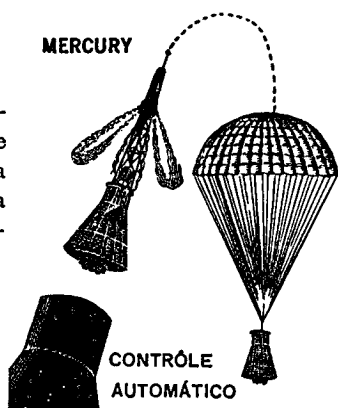
Em contraste, o sistema de segurança para a tripulação do Gemini é inteiramente manual. As diversas indicações de falhas potenciais do veículo de lançamento são exibidas à tripulação de vôo. Mas a decisão sôbre a interrupção do vôo fica com a tripulação. Em uma ocasião, pelo menos, um pilôto comandante realmente decidiu contra os conselhos favoráveis a uma interrupção, exibidos no seu painel de instrumentos.

Isso aconteceu durante tentativa de lançamento de um Gemini 6, em dezembro de 1965, quando os dois motores do primeiro estágio do foguete Titan desligaram, sem elevar o veículo da plataforma de lançamento. Em conseqüência de vibrações de motor, caíra uma conexão elétrica antes do tempo, quando o foguete ainda estava prêso ao solo.

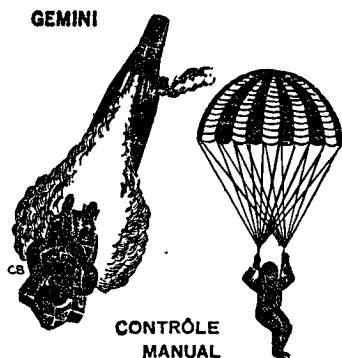
Essa desligação de tomada — que teria ocorrido normalmente com os movimentos do foguete em ascensão — ligou o relógio de bordo e os sistemas de direção e contrôle, fazendo que o sistema lógico de bordo, elétrico, "acreditasse" que o pássaro estava voando. Poucos segundos mais tarde, um cronômetro do sistema de suporte no solo, não tendo recebido o sinal para soltar os engates dentro de um período determinado, desligou os motores. O sistema salva-vidas da tripulação concluiu, com perfeita lógica, que surgira situação de emergência a exigir imediato "abortamento" ou interrupção; aparentemente, o veículo "transportado em foguete", estava caindo de volta sôbre a plataforma de lançamento.

Com efeito, isso aconselhava os dois astronautas e puxar os anéis em forma de D que acionam os assentos ejetáveis. Arremessados a cêrca de noventa metros de altura e a uns duzentos para o lado, poderiam então descer de pára-quedas.

Mas o pilôto comandante, cap. Walter Schirra, estava seguro de que o pássaro não deixara sequer a plataforma. Desprezou o sinal de aviso. Sua decisão correta, numa fração de segundo, de-

Sistema de escape do Mercury. A cápsula é automàticamente posta fora de perigo pelo foguete de escape, a ela prêso pela tôrre, e então, impelindo esta a jato, desce o pára-quedas com o astronauta dentro.

monstrou-lhe a presença de espírito e favoreceu a teoria de que há na verdade muito mérito na idéia de dar ao homem um papel nas decisões.

O que se fêz é como um meio-têrmo entre Mercury e Gemini. As situações de falhas de veículo mais prováveis, que podem levar a condições catastróficas, não são súbitas, e aparecem no painel de instrumentos. Deixa-se a decisão sôbre interrupção à tripulação de vôo. As situações que podem levar ràpidamente a um desastre serão automàticamente interrompidas.

Manuais ou automáticos, os sistemas de segurança devem ser tão simples quanto possível. A simplicidade aumenta a confiança de que o sistema realmente funciona e também reduz o perigo de alarma falso, que poderia interromper desnecessàriamente um vôo

Sistema de escape do Gemini. Usa assentos de ejeção manualmente controlada, para abandonar a cápsula de 0 a 4.500 metros. Os astronautas balançam-se em pára-quedas individuais. Acima de 4.500 metros os astronautas permanecem na cápsula e trazem-na para baixo com o pára-quedas próprio.

Sistema de escape do Apolo. Usa foguete para impelir a cápsula para longe do motor de propulsão avariado, mas reserva o deflagrador automático para emergências súbitas, adotando o contrôle manual para astronautas em outras emergências.

perfeito. O modo mais eficiente de simplificar o sistema é fazê-lo sentir o resultado de um enguiço e não o próprio enguiço.

Uma das situações mais críticas é a que surge quando um dos motores do foguete espacial, montados sôbre giradores, emperra ou se inclina em ângulo extremo. Para dar a direção, os motores de foguete são orientados para frente e para trás, uns poucos graus, por pistões hidráulicos ("atuadores"),* de acôrdo com os sinais recebidos do computador de contrôle. A pane do motor poderia ser causada por falha elétrica ou hidráulica.

Se, por exemplo, se procedesse à "auscultação" eletrônica dos oito atuadores que giram os quatro motores móveis do primeiro estágio do Saturno V, seria possível obter indicações de defeito, mas essa instalação seria complexa demais.

Em vez disso podemos deixar de lado os atuadores e simplesmente sentir a razão de giro e o ângulo de ataque de todo o veículo. O que nos importa não é a orientação de um motor, mas o resultado – o giro rápido do veículo e o aparecimento de um ângulo de ataque excessivo, que poderia romper-lhe a estrutura.

Considerações como essa determinaram, para o veículo lunar Saturno V/Apolo, o seguinte sistema de segurança para a tripulação:

A interrupção automática se dois ou mais motores do foguete Saturno V se desligarem antes da decolagem; ou se o

(*) *"Actuators"*. (N.R.)

veículo desenvolve uma razão (**) de rotação no plano vertical ou horizontal superior a 5 graus por segundo; ou se o veículo começar a rodar a mais de 20 graus por segundo.

A interrupção manual fica ao arbítrio do pilôto, que tem a sua disposição as seguintes pistas: exibição, no painel, do ângulo-de-ataque nos planos de arfagem e zigue-zague; razões de giro em arfagem, zigue-zague e rolamento, segundo indicação do próprio sistema de orientação da astronave; e pedido de interrupção enviada por meio do rádio pelo diretor do vôo, que utiliza as pistas que lhe são sugeridas especialmente por dados telemetrados.

Em caso de avaria, depois que o veículo espacial entrou em órbita, o único meio concebível de escapar — além de futuros esforços de resgate por outro veículo espacial — é ligar o sistema de foguetes retroatores e reentrar na atmosfera. Se possível os astronautas adiarão a manobra com os foguetes retroatores até que a resultante trajetória de reentrada se aproxime, afinal, de um navio de recuperação. Mesmo em caso de emergência médica com um dos membros da tripulação, a cápsula a 30.000 quilômetros por hora será sempre a mais veloz ambulância possível.

O Problema de Salvamento no Espaço

Mais cedo ou mais tarde deveremos estar preparados para ouvir um SOS da tripulação de uma espaçonave em perigo. Que poderemos fazer para salvar os autronautas?

Até agora, o que foi feito em matéria de segurança dos vôos espaciais tem sido notável. Elevados padrões de contrôle e planejamento de missões e de construção de foguetes e naves, assim como soberba seleção e treinamento de astronautas têm evitado uma tragédia espacial. Mas, à medida que os nossos objetivos se tornem mais arriscados, as missões mais freqüentes, mais longas e com número sempre crescente de tripulantes, é muito provável que a estatística nos alcance. O desastre que quase aconteceu com a tripulação do Gemini 8, em março de 1966, quando um

(**) Razão, aqui e em outros pontos semelhantes, no sentido matemático, de proporcionalidade. (N.R.)

"empurrador" (thruster) desgarrado sacudiu violentamente a espaçonave, despertou clamores por um Programa de Salvamento Espacial realmente ativo.

O problema de salvamento espacial é muito parecido com o velho problema de salvamento no mar. As causas podem ser as mesmas — falha de equipamento, doença ou ferimentos de um membro da tripulação, fogo ou explosão, êrro de navegação e mesmo colisão. As tarefas resultantes no espaço, como as oceânicas, podem variar do relativamente fácil ao quase impossível.

Uma tripulação de astronave prêsa a órbita baixa em tôrno da Terra, por falha dos retroatores, está em situação que pode comparar-se à de um grupo de pescadores que se afastou da costa e não consegue fazer funcionar o motor do barco. Êste poderá pedir socorro à Guarda Costeira por meio do rádio. Mesmo que o barco esteja afundando ràpidamente, ou em caso de incêndio, ou botes ou esteiras salva-vidas proporcionam boa possibilidade de salvamento. No caso de vôos orbitais ainda não existem, é claro, botes nem Guarda Costeira mas isso está perfeitamente dentro do alcance da tecnologia existente e pode na verdade tornar-se disponível em futuro não muito distante.

No outro extremo, o das maiores dificuldades, estão as futuras viagens pelas amplidões do espaço vazio até outros planêtas. Salvamentos relativos a desastres acontecidos em missões tão distantes só poderão basear-se no modêlo geral estabelecido pelos grandes exploradores da era dos navios a vela. Quando Colombo perdeu o *Santa Maria* num naufrágio junto à recém-descoberta Hispaniola, transferiu-se, juntamente com sua tripulação, para a *Pinta* e *Nina*, para a viagem de volta.

Òbviamente, não havia e nem poderia haver capacidade de salvamento por ocasião dos primeiros vôos orbitais. O nosso programa Mercury só queria provar que o homem poderia viver e movimentar-se no espaço sem que a sua capacidade fôsse muito prejudicada pela falta de gravidade.

A possibilidade de encontros e acoplamentos, pré-requisito de qualquer plano de salvamento a partir do solo, ficou por conta dos vôos subseqüentes dos Gemini. Mas mesmo o sucesso dêstes quanto a encontros e acoplamentos não significa que o que temos a fazer para salvamentos a partir do solo é apenas manter um Gemini em prontidão constante sôbre o seu Titan II, na plata-

forma de lançamento em Cabo Kennedy. O problema não é tão simples assim.

A órbita é fixa no espaço. A plataforma de lançamento em Cabo Kennedy gira em tômo do eixo terrestre, dando uma volta em 24 horas. Para que seja possível um encontro, o curso de um foguete "caçador" em ascensão deve estar aproximadamente no mesmo plano de seu alvo prèviamente pôsto em órbita — e isso só acontecerá se êle fôr lançado durante um dos breves e raros períodos chamados de "janelas".

Os astronautas do alvo, a astronave em dificuldades, podem, portanto, ter de esperar muitas horas antes que um "barco da Guarda Costeira" possa deixar o pôrto. O mau tempo, na área de lançamento ou de eventual interrupção de vôo, e outros fatôres podem ainda demorar qualquer tentativa de salvamento.

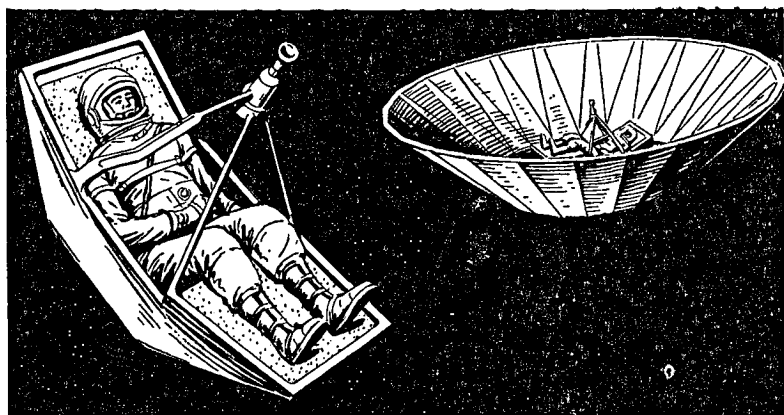
Foguetes extremamente poderosos como o Saturno V, teòricamente podem executar uma manobra *dogleg*(*), de um lançamento no Cabo a uma órbita em plano diferente. Isso poderia prolongar substancialmente a janela de lançamento, ou seja, poderia diminuir o tempo em que a tripulação em perigo teria que esperar pelo salvamento. Mas, à parte o alto preço dessa operação, o tempo necessário para fazer subir um veículo de lançamento tão grande e complexo iria com certeza sobrepujar o tempo ganho pelo alargamento da janela de lançamento.

Nem tôdas as astronaves orbitais, impossibilitadas de sair da órbita por falha do sistema de retroatores, precisarão ser recuperadas sem demora. Enquanto a reserva de oxigênio durar, a tripulação poderá esperar até a chegada de salvamento.

Infelizmente, contudo, a análise cuidadosa dos requisitos de salvamento demonstra que substancial número de emergências potenciais que requerem salvamento, deverão ser urgentes. Se a tripulação não receber auxílio rápido, será inútil.

O incêndio numa espaçonave é exemplo disso. A atmosfera artificial das atuais espaçonaves é constituída de oxigênio puro. Um curto-circuito elétrico pode produzir faísca, e a delicada rêde

---

(*) A palavra aplica-se, como adjetivo, ao que é semelhante à perna posterior do cão, na qual se observam ângulos nítidos. Por extensão, ao que é dobrado ou torcido da mesma forma. Aplica-se também a escadas com lances em ziguezague, sem poço, e a certos movimentos do gôlfe, quando a bola pode sair em direções diferentes. De um modo geral, pois, guinada ou ziguezague. (N.R.)

O Pára-quedas Espacial, concebido pela Douglas, apresenta assento de ejeção com retrofoguete, para sair da órbita. Então a camisa de arrasto se abre para reentrada auto-estabilizadora e pouso almofadado, graças ao focinho amarrotável. A pequena carga por unidade de área dispensa blindagem contra calor.

elétrica estará inutilizada em poucos segundos. É verdade que os astronautas protegidos por suas vestes espaciais podem extinguir ràpidamente o fogo pela simples despressurização da sua cabina, mas com isso ela poderá deixar de ser habitável.

O mesmo resultado pode ocorrer em conseqüência de perfuração da astronave por um meteoróide pesado; colisão de duas naves espaciais numa tentativa de encontro; poluição da atmosfera da cabina por fumaça tóxica, ou apenas irritante, libertada, por exemplo, pela ruptura de um tubo auscultador, de pressão hidráulica, e uma avaria nuclear de energia elétrica, criando perigo de radiação dentro da nave.

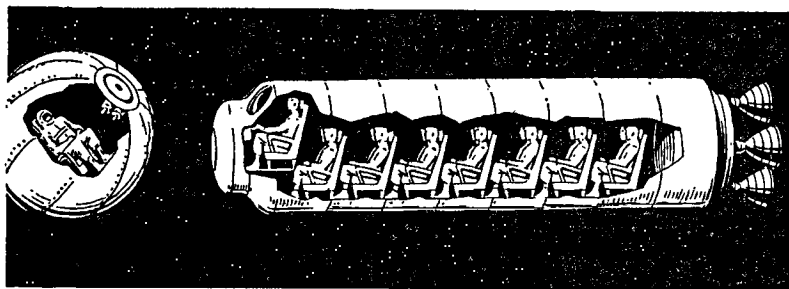
A urgência conseqüente a perigos do vôo espacial análogos a êstes levou muitos construtores de naves espaciais a propor como melhor solução a idéia, já reverenciada pelo tempo, do bote salva-vidas.

Para o espaço mais longínquo, naturalmente, o primeiro e capital requisito de um bote salva-vidas é o de fornecer aos astronautas um abrigo com atmosfera respirável, fora da espaçonave avariada.

MOOSE de salvamento, idealizado pela General Electric. Êle encaixa o astronauta em saco plástico que se enche de espuma de poliuretano para tomar a forma necessária à reentrada. O astronauta usa um retrofoguete para sair da órbita, e depois o dispensa. O saco tem escudo térmico dobrável para reentrada e um pára-quedas que se desdobra automàticamente, para aterrar.

Vários construtores já imaginaram botes salva-vidas, destinados a abrigar temporàriamente os astronautas enquanto esperam por salvamento vindo da Terra. Nesta categoria está o "Emergency Cocoon (Casulo de Emergência) da General Eletric, abrigo esférico inflável com isolamento térmico e possibilidade de expulsar, do ar respirado, o bióxido de carbono. A North American Aviation propõe Abrigos Separáveis, também armazenáveis e infláveis, mas um pouco mais elaborados, pois têm propulsão própria para levá-los de uma órbita inferior a órbitas mais elevadas e portanto mais seguras.

Outros sugerem botes salva-vidas inteiramente capazes de reentrada na atmosfera. A essa classe pertence o Pára-quedas Espacial da Douglas e o MOOSE (de Manned Orbital Operations Safety Equipment), da General Eletric. Ambos são dobráveis para guardar na espaçonave e combinam as características de uma jangada, sobretudo, e casulo espaciais.

Engenhos como êsses oferecem a vantagem òbvia de dispensar ajuda lançada do solo. Contudo, a reentrada e a descida na Terra

Abrigo separável (à direita) da North American expande-se para conter de 5 a 15 homens, podendo servir de jangada de salvamento aos futuros veículos espaciais de grande tamanho. A autopropulsão por foguete pode impeli-la mais para o alto, a uma órbita de maior duração que dê mais tempo para a chegada dos salvadores.

Casulo de Emergência (à esquerda), da General Electric, para proteger o astronauta-náufrago em bola de tecido inflável, isolada tèrmicamente por meio de camadas externas de plástico aluminizado. Delgado revestimento de silicone retém oxigênio levado para a respiração, mas deixa escapar o bióxido de carbono e o vapor d'água não desejados.

em segurança não bastam para garantir sobrevivência. A reentrada sem contrôle poderia aterrar os astronautas numa área inacessível ou no meio de um oceano assolado por ventos. Assim, êsses botes de auto-salvamento devem ser providos de aparelhagem de comunicações e rastreamento, faróis de luz e dispositivos para garantir flutuação e sobrevivência.

Poderemos encontrar futuros exploradores perdidos na Lua?

Nosso programa Apolo fornece ao astronauta grande variedade de "opções de interrupção", caso alguma coisa não dê certo durante as muitas fases de viagem de ida e volta à Lua. Mas se uma primeira patrulha ficasse impossibilitada de voltar da Lua para a nave principal em órbita em tôrno dela, qualquer tentativa de salvamento oriundo da Terra chegaria tarde demais.

Num estágio mais avançado de operações na superfície lunar, contudo, as coisas serão diferentes. Do mesmo modo que os exploradores árticos podem sobreviver a todo um inverno de frio glacial, os futuros exploradores lunares serão providos de abrigos

temporários e provisões suficientes para poder esperar por salvamento durante semanas ou meses, se necessário. Mais ainda, do mesmo modo que o Surveyor fêz pousar suavemente na Lua um aparelho de televisão, em ponto precisamente determinado, é realizável o envio de uma espaçonave não tripulada para entrégar tudo o que fôr necessário à sobrevivência de uma expedição perdida na Lua, até que uma missão de salvamento possa chegar até lá.

IV

ESTAÇÕES NO ESPAÇO

O Que Aconteceu às Estações Tripuladas do Espaço?

Durante os anos antes do Sputnik, vários escritores, inclusive eu mesmo, prediziam que um dos primeiros objetivos do vôo espacial tripulado seria estabelecer uma base ou bases espaciais orbitais.

Atualmente estamos atarefados na construção de foguetes e naves espaciais para levar homens à Lua. Temos sido fantàsticamente bem sucedidos com os Projetos Mercury e Gemini e os nossos adiantados foguetes Saturno I mostraram que podem elevar, com segurança, mais de vinte toneladas de carga líquida até uma órbita. No entanto, pouco se fala de estações espaciais tripuladas. Por que isso?

Na verdade, o conceito de estação espacial tripulada continua com o mesmo fascínio que possuía há uns quinze anos. Não há nenhuma dúvida de que os Estados Unidos terão uma ou várias dessas estações em órbita dentro de bem poucos anos. A razão pela qual não se levou avante mais ativamente um projeto de estações espaciais é que só através do processo de realização de operações de vôos espaciais tripulados aprenderemos a construir a estação mais adequada aos vários propósitos que lhe serão atribuídos.

Enquanto isso, o programa Gemini já nos forneceu uma profusão de conhecimentos de ordem prática que irão servir de base a sólido conceito de estação espacial. Pela primeira vez os vôos Gemini demonstraram a possibilidade de encontros e acoplamentos orbitais, manobra indispensável ao estabelecimento de qualquer base espacial que possa ser revisitada e regularmente suprida. Dentro e fora de sua espaçonave os astronautas da Gemini realizaram grande número de observações e experiências científicas. Tudo isso deu-nos idéia mais apropriada do quanto se poderá realizar com uma estação espacial tripulada, em vez de um observatório automático no espaço.

Já podemos prever muitas tarefas para as quais as bases espaciais tripuladas serão imensamente úteis. Vejamos algumas. (*)

Estudos astronômicos e astrofísicos do Sol, Lua, planêtas e do universo circundante. As vantagens de uma estação espacial seriam a ausência de turbulência atmosférica e dos efeitos de filtragem, pela atmosfera terrestre, da radiação ultravioleta e outras.

Observações da superfície terrestre com vários propósitos: recenseamento da população; vigilância contínua de safras e subseqüente previsão de colheitas em escala global; prospecção de petróleo e minérios; inspecções oceanográficas sôbre o estado do mar; temperatura e salinidade da água; distribuição de plancton e resultante distribuição da fauna marítima; previsões meteorológicas; avisos sôbre tempestades e enchentes; patrulhas contra icebergs; entrosamentos entre as nevascas e reservas de água; previsões sôbre erupções vulcânicas e deslizamentos de

(*) As experiências russas com o Soyuz em janeiro de 1969, nas quais quatro homens, a 240 km de altitude, conseguiram engatar dois veículos correspondentes a cabinas de 10 metros de comprimento, formando um todo comparavel a uma pequena casa capaz de abrigar seis homens, com acomodações diversas, foram encaradas por alguns comentaristas especializados como prenúncio da colocação em órbita baixa de uma verdadeira estação orbital. Norte-americanos e russos estariam seguindo política espacial diferente, desde que o presidente Kennedy optou pela conquista da Lua por um foguete lançado de uma só vez, o que implica pequena tripulação na cápsula. Os norte-americanos concentraram-se em magníficas e imaginosas realizações, como a do módulo lunar, para atingir a Lua e nela pousar em vôo inicialmente animado por um único foguete. Os russos estariam seguindo a linha convencional, geralmente considerada antes do início da era espacial, que consiste em fazer das estações orbitais a base de lançamentos de veículos para regiões mais distantes. (N.R.)

terra; detecção de incêndios florestais; reconhecimentos militares, ajuda à navegação e contrôle de tráfego de navios e aviões.

Pesquisas físicas, médicas e biológicas: uma estação espacial é o lugar ideal para pesquisa sôbre os efeitos de grande número de condições que é impossível criar na Terra, como imponderabilidade prolongada, radiações espaciais de vários tipos e vácuo quase perfeito e de amplidão ilimitada.

Manutenção de complexas instalações espaciais: os satélites de comunicações não tripulados são fato hoje corriqueiro, e é agradável constatar que já estão produzindo boa renda. Êsses satélites servem de postos elétricos subsidiários entre poderosas estações terrestres de diversos continentes e são usados como eficientes elos transoceânicos para serviço telefônico e programa de televisão. Contudo, isso é apenas o comêço. Dentro de poucos anos o aluguel de linhas transcontinentais para as emissoras de televisão dos E. U. A. será coisa do passado, pois os satélites de comunicação podem prestar êsse serviço a preço que representa pequena fração do atual. Mais sensacional ainda será um satélite emissor de televisão em órbita sincrônica – uma estação aparentemente parada no céu, para a qual qualquer pessoa da Terra, em baixo, poderá sintonizar o seu receptor. Serão necessárias várias centenas de quilowatts de potência orbital de transmissão. As implicações de ordem política e social de um tal sistema serão enormes. David Sarnoff, presidente da Radio Corporation of America, disse em recente discurso que, com êsse satélite, o analfabetismo seria varrido da face da Terra em menos de dez anos.

Deveria ser tripulada essa estação de T. V.? É bem possível que se torne econômico manter uma tripulação em estação tão complexa e poderosa. Seria tripulação permanente, com rendições a intervalos periódicos.

Pôsto de montagem no espaço profundo e plataforma de partida para expedições tripuladas, que se preparem para descer em outros planêtas. Tais missões precisarão de naves espaciais dotadas de fôrça nuclear, montadas e abastecidas em órbita terrestre inferior, com componentes e combustíveis levados da Terra à órbita em cargueiros químicos.

Problema importante, que está influindo no desenho das estações espaciais tripuladas, é o dos possíveis efeitos maléficos de um longo período sob imponderabilidade.

Os primeiros projetos de estações espaciais previam a forma toroidal(*) ou de halter girando lentamente em tôrno do seu centro, para criar uma fôrça centrífuga que compense pelo menos em parte a ausência de gravidade. Mas uma plataforma rotativa iria atrapalhar as observações do firmamento e da terra, pois os telescópios precisam de base firme. O mesmo acontece com as grandes antenas direcionais de disco.

Ainda não sabemos se, do ponto de vista médico, será necessário proporcionar gravidade artificial às tripulações espaciais de serviço em longos períodos – e, nesse caso, se cinco minutos diários, numa pequena centrífuga em uma estação espacial não giratória, bastariam para contentar o astronauta e o médico. De qualquer modo, não há dúvida de que a gravidade artificial contribuiria para o confôrto da vida cotidiana de uma estação espacial.

As estações espaciais podem diferir muito, de acôrdo com os seus propósitos. Do mesmo modo, as suas finalidades podem ditar órbitas de tipos os mais variados.

A menos que a missão necessite especìficamente de órbita alta, o custo do transporte terra-órbita torna preferível a órbita baixa. Uma órbita oeste-este, baixa e levemente inclinada em relação ao plano equatorial é particularmente econômica; sua vantagem está no impulso de lançamento adicional que ela dá à astronave, como resultado da rotação oeste-este da Terra. Essa órbita seria ótima para uma estação espacial destinada a observatório astronômico.

A órbita polar ou quase polar relativamente baixa, ao contrário, parece vantajosa para observação da Terra, pois permitiria observar todos os pontos pelo menos duas vêzes nas vinte e quatro horas do dia.

Para um pôsto de montagem das expedições ao espaço distante, a órbita baixa no plano equatorial oferece certas vantagens. Também uma emissora de T. V. "fixa" no espaço deve ser colocada em orbita equatorial, com o requisito adicional de um período orbital de vinte e quatro horas (o que, por sua vez, exige altitude de 42.000 quilômetros).

(*) Como argola de seção circular; no texto o autor usa a expressão *doughnut,* que significa as conhecidas roscas fritas. (N.R.)

Em resumo, as estações espaciais surgirão. Em razão de suas variadas utilidades potenciais, e diferentes requisitos, parece provável que tenhamos não uma, porém, várias estações espaciais e que, no devido tempo outros países terão também as suas.

É possível, contudo, que se combinem várias missões, para aproveitar uma única estação central, quando todos os participantes aceitarem a mesma órbita. Para conciliar as necessidades de diferentes missões, quanto à construção, o centro espacial orbital pode consistir num grupo de pequenas estações "missões" a flutuar livremente, agrupadas em tôrno de um toro ou halter em rotação, que também servirá de hotel, restaurante e escritório para todo o agrupamento.(*)

A única informação capaz de nos dar alguma compreensão do mundo extraterrestre é a radiação vinda das estrêlas, nebulosas

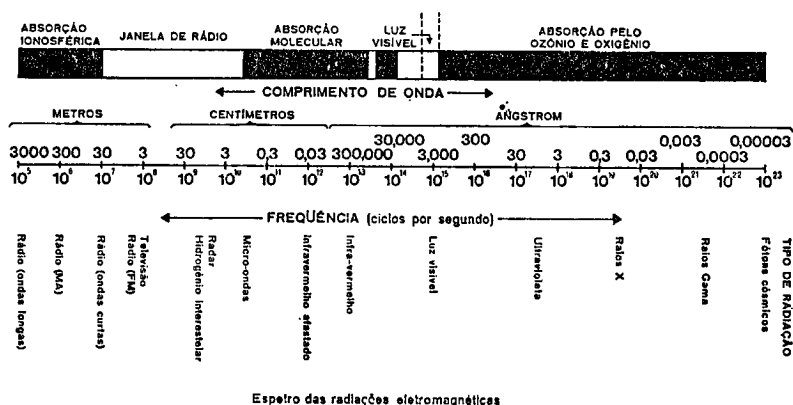
---

(*) Os satélites automáticos tiveram impulso muito mais rápido do que a princípio se imaginava. A era da comunicação via satélite começou em 1962, quando os norte-americanos colocaram em órbita o Telstar. Com o Early Bird começou em 1965 o serviço transatlântico comercial, e dois anos depois já estava superado êsse satélite. Em 1967 lançaram-se, com efeito, os dois satélites Intelsat II, que duplicaram o número de circuitos transatlânticos e permitiram comunicação transpacífica. No inverno de 1968-69 subiram dois novos Intelsat, os Intelsat III, com número de circuitos cinco vêzes superior ao permitido pelo II, esperando-se para 1971 o lançamento do Intelsat IV. O Intelsat III tem maior capacidade de circuitos do que tôda a rêde de cabos telefônicos transatlânticos. Cada Intelsat IV terá capacidade para 5.000 a 10.000 circuitos telefônicos

Tão rápido crescimento ocorreu porque os resultados financeiros apareceram antes do que se esperava. E tal salto para o lucro se deve em grande parte a uma formidável "jogada" da Hughes Aircraft Company, da Califórnia, que pràticamente tem tido todos os contratos para satélites de comunicação. A "jogada" consistiu nisto: em 1962 quase todos raciocinavam em têrmos de uns poucos satélites, em órbita relativamente baixa, de uns 15.000 km, exigindo antenas terrestres dirigíveis pàra acompanhar os satélites quando êles surgiam no horizonte e descreviam sua trajetória por cima de nossas cabeças. As estações de terra seriam caríssimas. A Hughes, entretanto, visualizou outro quadro: satélites muito mais distantes, de órbita a 35.000 km e sincrônicas com a terra, isto é, os satélites percorreriam suas órbitas com a velocidade da terra, permanecendo assim constantemente acima do mesmo ponto terrestre. Isso resultou em facilidade de acompanhamento, com antenas fixas, reduziu o custo das estações de terra e também cortou pela metade o número de satélites necessários para cobertura total do globo.

As implicações sociais e políticas dêsses satélites são óbvias. A administração dos Intelsat é feita por um consórcio que abrange 65 países.

Além dêsses tipos de satélites outros existem, que se têm dedicado a objetivos especiais. Certo é, porém, que os Intelsat também irão explorar a possibilidade de outros serviços além da comunicação, e os problemas de ordem comercial e internacional já começaram a surgir. (N. Rev.)

Espetro das radiações eletromagnéticas

e galáxias distantes. Os veículos espaciais podem servir para estudar êste mundo, muito melhor do que jamais se poderia fazer da superfície da Terra.

O espaço exterior é permeado pelo espectro total de radiações eletromagnéticas mostrado no diagrama. Êle varia desde 0,00003 Angstrom (um Angstrom é um décimo-milionésimo de metro) até 3.000 metros. A freqüência correspondente também se vê no diagrama.

Mas nós vivemos no fundo de uma atmosfera muito densa, que absorve a maior parte dessa radiação; é opaca em relação a ela. Apenas uma pequena parte penetra até a superfície da Terra. Em essência, nossa concha atmosférica é provida de apenas duas "janelas": uma para a luz visível (comprimentos de onda entre 4.000 a 8.000 Angstroms) e um pouquinho do infravermelho, e outra para as ondas de rádio (entre 1 centímetro, mais ou menos, e 30 metros de comprimento de onda).

Durante séculos as observações dos corpos celestes se limitaram à estreita janela da luz visível. Nos anos mais recentes os radiotelescópios abriram a "janela de rádio", colhendo muitas informações novas.

Os veículos espaciais, operando fora da atmosfera terrestre, podem observar *todo* o espectro de radiações eletromagnéticas. Tripulados ou não, êles oferecem uma plataforma ideal para o estudo do universo, com instrumentos sensíveis às radiações que não podemos usar na Terra. Mesmo uma olhada casual ao pequeno

diagrama revela que essas novas possibilidades de observação por fôrça multiplicarão nossos conhecimentos sôbre o universo.

Há muito uso prático a esperar do estudo do universo, do qual o nosso planêta é parte ínfima. Nada mais difícil de prever do que as aplicações rendosas de uma nova descoberta. Mas, em última análise, tudo o que satisfaz nossas necessidades diárias – os alimentos que comemos, as roupas que vestimos, os automóveis que guiamos – resultam do desejo que alguém teve de explorar o desconhecido.

Se percorremos de volta os passos que nos levaram ao domínio da energia nuclear, seja na bomba atômica seja num reator de potência, iremos chegar aos estudos astronômicos – do Sol, em particular.

Deveríamos ter sempre em mente que tôda vida animal e vegetal da Terra se extinguiria em poucas horas se o Sol deixasse de brilhar. É claro que a melhor compreensão do mecanismo de transferência de energia do Sol para a Terra nos levará a melhor compreensão dos problemas diários cá embaixo, na Terra.

Embora pareça nunca mudar de aspecto, o Sol é realmente sujeito a comportamento muito irregular. Sua superfície pode ser perfeitamente limpa hoje; daqui a um mês poderá estar coberta de pequenas manchas. As manchas solares são indicação de atividade até certo ponto semelhante às erupções da Terra. A diferença entre os dois fenômenos é que o gás expelido pelo Sol – onde predomina o oxigênio – é tão quente que o átomo de hidrogênio (constituído de um próton e de um elétron orbital) perde o seu elétron. Como resultado, as explosões gasosas ou protuberâncias solares são constituídas de prótons ou de elétrons.

Em condições normais, "de sossêgo", há um fluxo mais ou menos constante dessas partículas, chamado "vento solar". Êsse fluxo atravessa o espaço entre o Sol e a Terra, e vai além. Durante erupções solares médias, a densidade dêsse fluxo aumenta cem ou mais vêzes, e a velocidade com que as partículas atingem a Terra é também acentuadamente maior. Uma vez por ano, mais ou menos, há erupção de uma labareda gigante, com partículas de velocidade e intensidade muito superiores às de labaredas normais.

Em relação aos vôos espaciais tripulados, só se consideram perigosas essas labaredas gigantes. Já se começou um programa

para prever-lhes o aparecimento, e planeja-se marcar as viagens curtas (tais como as de ida e volta à Lua) para épocas que não coincidam com as superlabaredas. Para as longas viagens interplanetárias talvez seja necessário um "porão das tempestades", onde as tripulações possam esconder-se durante as horas de maior intensidade das labaredas.

O Sol é nossa mais poderosa fonte de radiação estelar. Podemos considerá-lo como a estrêla fixa mais próxima. Em conseqüência do problema das janelas, pouco sabemos ainda sôbre as radiações ultravioleta e de raios X, do Sol. Mas o pouco que aprendemos até agora por meio de satélites indica claramente que algumas das idéias primitivas mantidas por astrofísicos — especialmente acêrca da intensidade das emissões ultravioleta das estrêlas quentes — eram infelizmente erradas.

Estamos ainda no escuro total acêrca das causas do misterioso ciclo de onze anos das manchas solares. Os cientistas sabem, há anos, de uma estreita correlação entre êsse ciclo de manchas solares e as variações magnéticas e auroras polares da Terra. A descoberta dos cinturões de Van Allen deu algumas indicações sôbre o mecanismo dessa interação. Mas não sabemos o que faz o Sol "respirar" nesse ciclo.

É provável que parte da energia térmica contìnuamente liberada pelo imenso reator termonuclear que opera no interior do Sol, em vez de fluir regularmente para a superfície, seja represada de um jeito qualquer, escapando depois em ondas periódicas suaves.

Muito comuns são as estrêlas variáveis com grandes variações de brilho — e é na verdade uma sorte serem as variações cíclicas do nosso Sol tão pequenas que há uns cem anos nem eram conhecidas.

Custou tanto descobri-las principalmente porque o ciclo de manchas não é acompanhado de qualquer variação visual perceptível — ou, em outras palavras, pela observação com luz visível. Na região ultravioleta, anteriormente inacessível, as flutuações já registradas são bem acentuadas.

Os novos observatórios solares orbitais da NASA estão aparelhados para gravar êsses dados sôbre radiação. Mas devemos ser pacientes e esperar ainda para tirar conclusões mais gerais. Pelo menos um ciclo de onze anos.

Há relação definida entre o ciclo de manchas e o estado do tempo: Os meteorologistas aprenderam, desapontados, que a precisão estatística das suas previsões sofre a influência adversa do aumento da radiação ultravioleta do Sol.

A razão disso é fácil de entender: o método clássico de previsão do tempo tem sido baseado no princípio da casualidade. Ou, em outras palavras, o mapa do tempo para têrça-feira nos Estados Unidos é dedução direta, lógica, das tendências apresentadas pelo tempo no mapa de segunda-feira. Mas, êsse raciocínio de causa e efeito só é permissível na análise de um "sistema fechado", tal como o de uma atmosfera sujeita apenas a distúrbios internos e exposta a um fluxo constante e previsível de radiação solar. Tão logo a situação seja alterada por fatores externos — como variações não conhecidas da radiação ultravioleta do Sol — o maravilhoso raciocínio casual desmorona e os resultados das previsões sôbre o tempo transformam-se em desaponto.

A quantidade de dados esporádicos recolhidos até agora é enorme, mas falta-nos um sistema gravador que, colocado num satélite, registre a radiação ultravioleta solar durante as vinte e quatro horas de todo dia. Vamos tê-lo dentro de uns poucos anos. Graças a êsse registro e mais uma verificação contínua da camada de ozona da atmosfera (que alcança cêrca de cem quilômetros de altitude e pode ser atravessada por um simples foguete-sonda), os meteorologistas poderão assinalar exatamente essas influências externas sôbre o nosso tempo. Satélites do tipo Tiros e Nimbus, com câmaras de TV e aparelhos sensíveis às radiações infravermelhas, também vigiarão dia e noite, mostrando a configuração sempre variável das nuvens da Terra.

Quando tôdas essas novas fontes de conhecimento estiverem ao alcance das estações meteorológicas existentes, graças a um sistema global de comunicações rápidas, poderemos certamente esperar que as previsões sôbre o estado do tempo atinjam elevados índices de precisão.

Os observatórios no espaço são ideais para estudo de outro fenômeno de grande interêsse para os cosmologistas e os construtores de veículos espaciais: a radiação cósmica. Emprega-se o têrmo radiação cósmica, ou raios cósmicos, para designar as

partículas elementares que cortam o espaço a velocidades próximas à da luz.

A maioria dessas partículas é constituída de prótons, núcleos de átomos de hidrogênio (de pêso atômico 1). Mas já se registraram núcleos mais pesados, como o do índio (pêso atômico 114,8). De um modo geral, o número de partículas diminui à medida que aumenta o pêso delas, mas alguns elementos mais pesados, como o ferro (pêso atômico 55,8) são relativamente abundantes. Embora as provas ainda não sejam completas, alguns cientistas acreditam que a distribuição dos raios cósmicos por pêso atômico reflete a abundância relativa dos elementos químicos no universo. Isso levou à teoria de que os raios cósmicos seriam o resíduo de tremendas explosões nucleares de estrêlas. Essas estrêlas em explosão, que têm sido observadas por astrônomos, são as *supernovæ.*

Contudo, algumas partículas cósmicas têm tal velocidade que mesmo a explosão de uma supernova não daria para justificar-lhes a energia. Acredita-se que a fôrça extra dessas partículas provenha de rebotes sucessivos para a frente e para trás, entre campos magnéticos que acompanham o movimento de vastas nuvens interestelares de gás ionisado extremamente tênue, ou *plasma.*

Sabe-se que a radiação cósmica de nível menor de energia provém do Sol, especialmente quando ocorrem as protuberâncias solares.(*) Essas partículas, ao aproximar-se da Terra, sofrem deflexão causada pelo campo magnético desta, em direção aos pólos Norte e Sul. Assim a intensidade total dos raios cósmicos é mínima na região do equador.

Às partículas de radiação cósmica do tipo das encontradas no espaço exterior dá-se o nome de *primárias,* para distingui-las da cascata de partículas secundárias geradas por sua colisão com um núcleo de ar das camadas mais altas de nosso envoltório atmosférico. Essas partículas secundárias caem em chuveiro através da atmosfera. Embora sua intensidade diminua com o decréscimo da altitude, elas podem ser registradas no solo e mesmo a várias dezenas de metros sob água.

(*) *Flares,* ou protuberâncias solares, são espécies de labaredas que irrompem da cromosfera solar, atingindo enormes distâncias. Fenômeno complexo, ocorre periòdicamente, acarretando conseqüências diversas, entre as quais as observadas na transmissão de sinais de rádio.

A questão dos riscos fisiológicos das radiações cósmicas, a longo prazo, para os astronautas é ainda acaloradamente debatida. Surpreendentemente, os radiologistas não se preocupam com as partículas primárias de máxima energia. Elas atravessam o corpo humano com tal rapidez que não têm tempo para causar dano.

O maior risco potencial é representado por uma partícula primária pesada e lenta, que páre no corpo humano "rangendo os pneus". Nesse caso a partícula primária, positivamente carregada, tem tempo bastante para expulsar tôda uma fieira de elétrons para fora das órbitas dos átomos dos tecidos humanos, ao longo do caminho de seu "retardamento terminal" ou frenagem final. Alguns radiologistas acreditam que certas áreas do corpo humano, como o cérebro e a medula espinhal, poderiam ser lesadas por exposições prolongadas a êsses impactos de lenta desaceleração. Daí estarem advogando maior proteção contra radiação nos vôos espaciais mais prolongados.

Agora é a Hora de Colocar em Órbita uma Sala-de-Estar

"Injetar água, mastigar, e comprimir o caldo através dos dentes". Dia após dia de tão espartana alimentação e tôdas as outras privações dentro do exíguo espaço da Gemini 7 puseram à prova o valor de Frank Borman e Jim Lovell no seu vôo espacial recorde de duas semanas, em dezembro de 1965.

Os pioneiros sempre sofreram falta de confôrto. Nenhum grupo de homens jamais aceitou com maior boa vontade os seus desconfortos do que os nossos astronautas. Mas as missões vindouras precisarão dotar as espaçonaves de condições mais normais de vida.

Nosso programa de vôos espaciais tripulados está entrando numa segunda fase muito importante. Agora que já demonstramos que o homem pode viver e trabalhar no espaço por bastante tempo, precisamos realizar tarefas de ordem prática. E as futuras missões espaciais tripuladas deverão ser tanto mais úteis quanto mais duradouras.

Durante longo tempo os vôos espaciais ainda continuarão a ser caros. Enquanto não tivermos veículos de lançamento reusáveis, a parte mais custosa será o foguete retropropulsor. Assim, é preciso tirar o máximo de um único lançamento, para diminuir o custo homem-hora no espaço.

O estudo da quilometragem por litro também favorece as longas missões. Cada veículo tripulado que se coloca em órbita custa muitos milhares de litros de combustível. Uma vez em órbita, entretanto, não há mais necessidade de combustível para mantê-lo lá. A cada volta, de um circuito em órbita baixa, a tripulação viaja 50.000 quilômetros. Assim, se uma espaçonave permaneceu em órbita por muito tempo, sua economia poderá envergonhar um Volkswagen.

Longa permanência em órbita será portanto a regra, e não exceção, para missões tripuladas úteis, próximo à Terra. Para que um homem trabalhe eficientemente durante um vôo espacial prolongado é preciso dar-lhe razoável grau de confôrto, seja êle pilôto, cientista, soldado, operador de aparelhamento comercial ou observador militar. Isso será importantíssimo no futuro vôo espacial tripulado ao planêta Marte, viagem que poderá durar muito mais de ano.

As necessidades básicas de confôrto, em vôo espacial não são muito diferentes em relação às nossas idéias de confôrto na Terra:

> Temperatura. Quando não há muita atividade física, 22 graus são o ideal. As variações não devem exceder dois graus, para mais ou menos. Os sistemas de contrôle do ambiente, numa espaçonave, podem fàcilmente manter a temperatura dentro dêsse intervalo, não importa por quanto tempo.
>
> Atmosfera. As atuais espaçonaves dos E. U. A. são providas de atmosfera de oxigênio puro, para ser respirado à pressão baixa, de 350 gramas por centímetro quadrado (absoluta). Isso é cêrca de um têrço da pressão atmosférica normal (1.033 gramas por centímetro quadrado) e é mais ou menos como a do cimo do monte Everest. Mas é constituída de oxigênio puro e, nessa pressão dá aos pulmões mais oxigênio do que se respira em atmosfera três vêzes mais densa do que a normal, em que o ar tem 21 por cento de oxigênio e 79 por cento de nitrogênio.
>
> A pressão baixa, além de economizar pêso de astronave, dá às vestes espaciais maior flexibilidade, facilitando os movimentos dos tripulantes. Adotando-se a mesma pressão nas cabinas da espaçonave e nas vestes espaciais, evitam-se

as complicações na passagem de uma para a outra, quer para um passeio espacial quer no caso de uma falha súbita no sistema de pressão da astronave, forçando os astronautas a fechar as placas faciais dos seus capacetes e ficar na dependência da vital atmosfera das suas vestes.

Por quanto tempo poderão os astronautas respirar oxigênio puro sem prejuízo para o organismo? Não se sabe ainda, e há muita discussão sôbre o assunto. O vôo do Gemini 7 mostrou que duas semanas não são demais. Mas... e um ano? Ninguém sabe. É muito provável que, por falta de experiências, as astronaves e estações espaciais destinadas a longos períodos, de um ano ou mais, voltem ao velho e bom ar, por segurança.

Retiro. Muitos dão grande valor ao direito de ficar sós. Após um ano no espaço, em compartimentos apertados, até mesmo o modo como os outros comem, desobstruem a garganta ou contam uma anedota pela décima vez pode ser intolerável.

As estações do solo requerem contato contínuo com uma espaçonave em órbita, como já acontece com os aviões de carreira, e conversa pelo rádio não é nenhuma canção de ninar para quem esteja a meio metro, dentro da espaçonave. Para o futuro, deverá haver "separação dos ruídos" para dar aos astronautas melhor retiro. Igualmente, a separação luminosa. Muita gente não dorme com luz acesa. Os atuais astronautas podem não ter tais problemas mas alguns astronautas-cientistas do futuro tê-los-ão sem dúvida. Um cantinho sossegado para retirar-se e dormir será, pois, indispensável.

Os homens precisam lavar-se, barbear-se e atender às funções naturais do seu corpo em retiro, outra razão para maior generosidade na distribuição de espaço assoalho no espaço exterior.

Alimentação. Alimento sêco e em pó, reconstituído por umedecimento, mastigação e esmagamento, pode ser ótimo para heróicos exploradores. Mas penso que um homem de no espaço, deveria receber o mesmo tratamennto a filé quem se espera grande eficiência durante mais de um ano

minhom que um caixeiro-viajante num vôo supersônico de Nova York a Los Angeles.

Diversão. Todos nós precisamos de diversão. O homem enjaulado numa estação espacial ou nave interplanetária há de querer alguma coisa para ouvir ou olhar – seja Beatles ou Beethoven, *Playboy* ou Plutarco. Técnicas adiantadas proporcionam vários modos de manter equilibrados e contentes os nossos astronautas: música em fitas, bibliotecas em microfilmes e lazer para televisão interplanetária a côres.

Cuidados médicos. Num vôo de duas semanas de ida-e-volta à Lua, o astronauta não requer mais do que uma simples visita ao médico de vôo. Mas isso não será suficiente em permanência de um ano em órbita ou viagem de um ano a outro planêta. Qualquer pessoa pode ter uma dor de dente ou uma doença séria alguns meses depois de o médico o encontrar em perfeita saúde. É lógico, portanto, que as longas permanências no espaço exterior precisem de um médico à mão – e os médicos-astronautas serão parte da tripulação que demandará o espaço, assim como os astronautas-astrônomos e os astronautas-meteorologistas.

Gravitação. Borman e Lovell estavam plenamente satisfeitos após duas semanas de gravidade nula. Seus comentários faziam parecer que a sua maior preocupação era saber se êles poderiam um dia acostumar-se à maçada que era a gravidade terrestre – que faz a gente virar de um lado para outro na cama para encontrar uma posição confortável, enquanto no espaço é possível adormecer e acordar horas depois sem se ter movido. Mas os médicos não sabem ainda o que um ano de gravidade nula poderá fazer a um homem. Se tudo o que êle precisar fôr apenas atividade física, será fácil remediar com remadores a sêco e molas de distender.

Se, porém, a longa exposição à gravidade zero tiver efeitos perniciosos, talvez uma centrifugação corporal baste para endireitar as coisas. Centrífugas elétricas, ou mesmo de pedais acionados pelo próprio astronauta terão a vantagem de dispensar a complicação de girar tôda a astronave para substituir gravidade por fôrça centrífuga.

Penso que não teremos problemas maiores na obtenção de espaço suficiente para tôdas essas necessidades das missões espaciais prolongadas.

Os veículos Saturno, destinados à propulsão da astronave Apolo até a Lua, têm enormes tanques de hidrogênio nos seus estágios superiores. Êsses tanques estão vazios quando da entrada em órbita. Após a descarga no vácuo espacial êles ficam limpinhos, livres dos odores que outros combustíveis deixariam e perfeitamente estanques de pressão. Poderão portanto ser cheios de uma atmosfera de oxigênio puro ou qualquer mistura desejada, de oxigênio-nitrogênio ou oxigênio-hélio. Proporcionam o espaço requerido para o homem espacial "armar a sua tenda" em completa solidão e podem acomodar uma cozinha, um consultório médico, um banheiro, um sanitário, uma biblioteca ou qualquer outra coisa que um astronauta em reclusão de um ano possa desejar. A NASA fêz experiência em que o estágio extinto de um Saturno S-IVB se tornaria habitável por trinta dias ou mais pelo acoplamento de uma astronave Apolo graças a um módulo provido de uma conexão estanque e suprimento de oxigênio para o interior do estágio. (O estágio do Saturno S-IVB serve de segundo estágio de um foguete Saturno IB para missões terra-órbita e como terceiro estágio de um Saturno V para injeção lunar.)

Penso ser justo dizer que chegou a hora de romper a barreira do conforto espacial.

Ferramentas Espaciais

Possíveis consertos, manutenção e trabalho de montagem espacial precisam de ferramentas construídas para condições de trabalho incomuns na Terra. Elas deverão trabalhar com segurança no vácuo e a temperaturas extremas. Precisarão ser usáveis por um homem atrapalhado por veste espacial e luvas pressurizadas, e habilitá-lo a apertar um parafuso e serrar um pedaço da carcaça da astronave sem complicações. A despeito dêsses rígidos requisitos, as ferramentas espaciais deverão ser extremamente leves.

O problema da segurança, ou antes da falta de segurança de muitas pequenas partes da complexa espaçonave tem sido, desde o início, a praga do nosso programa espacial. Com o advento do

vôo espacial tripulado considerou-se a possibilidade de dar ao astronauta uma capacidade limitada de manutenção do veículo espacial.

Se uma parte falhasse, raciocinava-se, por que não substituí-la por uma peça sobressalente? O objetivo pareceu atraente até que os engenheiros, entrando em detalhes, encontraram tropeços. Quantas ferramentas será preciso para trocar um número razoável de peças? Como deverá o astronauta verificar uma linha de pressurização consertada por motivo de vazamento, ou assegurar-se de que um subsistema com uma peça substituída funcionará normalmente logo após sua ligação? Dificuldades como essas levaram a uma drástica, mas bem fundada decisão de conduta para todo o programa de vôos espaciais tripulados dos E. U. A.: "Não haverá manutenção em vôo".

Contudo, com o aumento da duração e complexidade das missões, era forçoso que reaparecesse o desejo de efetuar ao menos pequenos trabalhos de reparo. Se alguma coisa vergasse num acoplamento muito rápido, ou se a porta do armário de instrumentos científicos ficasse emperrada após uma descida bem sucedida mas um tanto rude na superfície da Lua, o astronauta gostaria de pegar uma caixa de ferramentas e fazer algo. Assim como trocar o pneu de um carro, isso não seria bem uma tarefa de manutenção.

Assim a NASA tem agora, afinal, uma caixa de ferramentas para astronautas. Aperfeiçoada pela Martin Company para o Centro Espacial Tripulado, em cooperação com a firma Black & Decker a Caixa de Ferramentas Espaciais forma um pacote bem compacto, de trinta e cinco centímetros de lado por vinte e cinco de altura. Sua estrutura metálica tem um fôrro de espuma rija onde as ferramentas e acessórios ficam encaixados e presos.

A peça central é uma ferramenta automática de várias utilidades e do tipo de revólver. Ligações trocáveis transformam a ferramenta em chave de impacto, pua ou serra. Uma bateria trocável de 12 volts, pesando pouco mais de dois quilos e embutida no cabo, serve de fonte de corrente contínua.

A construção dessa ferramenta, de aparência tão simples e enganadora, atende às mais severas exigências. Como não há o resfriamento pelo ar, no vácuo espacial, a ferramenta deve absorver e irradiar o próprio calor. Lubrificantes comuns evaporar-se-

iam com facilidade, especialmente nas superfícies quentes: e então a resposta é graxa de silicone. Na ausência de oxigênio as superfícies metálicas tendem a soldar-se a frio quando comprimidas, o que é evitada pelo desenho em serra. Embora as condições de aquecimento variem muito ao sol e à sombra, o cabo em forma de coronha permanece a uma temperatura compatível com a luva que o segura durante uso prolongado da ferramenta.

O próprio astronauta dá origem a problemas ainda maiores do que os apresentados pelo meio ambiente. Quando êle torce um parafuso com chave comum, uma fôrça igual, ou torque, atua sôbre êle em direção oposta. Se êle estivesse sob gravidade zero e sem um bom ponto de apoio, o parafuso ficaria imóvel, e o próprio astronauta é que iria girar no sentido contrário.

Uma chave a ser usada em ausência de gravidade, como acontece em órbita, ou mesmo sob gravidade reduzida (como o 1/6 de G na superfície da Lua), deve eliminar ou reduzir ao mínimo essa fôrça de reação. Pode obter-se êsse resultado mediante compressão em vez de torção, mas nesse caso a fôrça de compressão depende da do astronauta. Uma ferramenta automática deve ter um "circuito fechado de energia", como o do gripo automático, para poder evitar as fôrças de torção reativas.

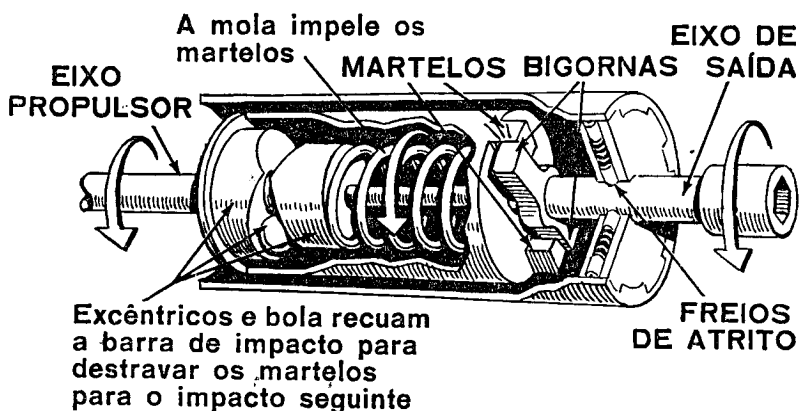
Graças a um engenhoso mecanismo patenteado por Black & Decker, a chave de impacto da Caixa de Ferramenta Espacial, proporciona tal circuito. O motor elétrico torce e solta uma mola cêrca de 3.000 vêzes por minuto. Martelos, girados por essa mola, batem fortemente contra bigornas, para virar uma haste externa frenada por atrito. Obtém-se assim um impulso de torque completamente isento de reação para apertar aquêle parafuso frouxo. O impulso excede de muitas vêzes o impulso contínuo da fôrça muscular do astronauta ou da que o motor da ferramenta seria capaz de aplicar.

Nem mesmo com ferramenta sem reação um homem flutuando livremente por ausência de gravidade poderia ter muita eficiência. Assim, a Caixa de Ferramentas Espaciais contém um sistema de retenção. Discos de cêrca de três centímetros de diâmetro, grudados na superfície exterior da espaçonave em vôo, servem de âncoras para fios que seguram o astronauta. Três fios bastam para mantê-lo firmemente. Em certos casos chegam dois ou até mesmo um. Na Lua êle não precisará absolutamente de ancorar-se.

Como o tipo de adesivo usado em esparadrapo não serviria nas condições extremas do espaço exterior, cada "botão" de contenção tem uma superfície de resina *epóxi* em que se acham embutidos os fios elétricos de aquecimento. A compressão e o aquecimento por trinta segundos gruda firmemente o botão à superfície externa da espaçonave, estabelecendo-se assim um ponto de ancoragem tão firme que pode agüentar tração de cêrca de vinte quilos.

No espaço, a falta de atmosfera refletora produz contraste de luz e sombra muito acentuado. É impossível trabalhar do lado escuro da astronave, acessível apenas de fora, sem iluminação artificial. Após experiências com aparelhos para refletir a luz do Sol e lâmpadas ligadas ao pulso ou corpo, a solução mais satisfatória foi a montagem de uma lâmpada de cada lado do capacete do astronauta – variação da idéia da lâmpada de mineiro. Essas lâmpadas figuram na Caixa de Ferramentas Espaciais.

Sério problema foi o de eliminar o perigo de incêndio e explosão pelo uso das ferramentas dentro da espaçonave, em atmosfera de oxigênio puro à baixa presão (350 gramas por centímetro quadrado). Experiências exautivas realizadas nessa atmosfera levaram finalmente ao emprêgo de escôvas de motor elétrico isentas de faíscas, e interruptores a prova de fogo.

Outro problema cuja solução contentou a todos foi o de conter as partes sôltas, evitando sua flutuação pela espaçonave, e a adaptação das ferramentas a serem manuseadas com a destreza

limitada pelas luvas espaciais pressurizadas. Adaptou-se uma "unha artificial" aos dedos das luvas, ajudando a manipular objetos pequenos.

A Caixa de Ferramentas Espaciais é ótima para pequenos consertos, mas para as futuras missões espaciais apresentar-se-á sem dúvida o problema da montagem, no espaço, de grandes estruturas metálicas. Estas podem abranger discos enormes para radiocomunicação e radioastronomia e veículos espaciais interplanetários transportados em secções por foguetes de carreira terra-órbita. Trabalhos de montagem como êsse precisarão de novos métodos de fabricação, adaptados a uso no espaço.

O Centro de Vôos Espaciais Marshall da NASA realizou extensa verificação das técnicas adequadas. A solda com feixe de elétrons, por exemplo, avançada técnica que requer alto vácuo, parece extremamente promissora. O mesmo acontece com a solda a frio, que aproveita o fenômeno da união que ocorre, em alto vácuo, entre duas superfícies metálicas adequadamente limpas, mesmo à temperatura ambiente.

Outro estudo Marshall diz respeito à moldagem elétrica. Um impulso elétrico de alta energia, através de um eletroímã, pode moldar uma peça de alumínio pelo impacto da enorme fôrça magneto-motora, como se fôsse uma prensa de forja. No espaço exterior a energia elétrica pode ser fàcilmente captada por meio de células solares e guardada em bancos-capacitores. Descarregando-se abruptamente êsses bancos, obtém-se fortes impulsos elétricos e campos magnéticos que poderão ser muito úteis na montagem de grandes estruturas espaciais. Por exemplo, a fôrça magneto-motora criada por uma única descarga através de ímã em forma de manga, dirigida às extremidades alinhadas de dois pedaços de cano de alumínio, solda-os perfeitamente.

Tôdas as ferramentas espaciais e tôdas as operações de montagem no espaço requerem estudos avançados e treinamento da tripulação em condições simuladas. Para um planejamento realístico, as perguntas que devem ser respondidas antecipadamente, abranjem a acessibilidade das estações de operação, o tempo necessário para completar uma tarefa com uma veste espacial pressurizada, e o índice metabólico do operador durante o teste.

Provas em tanques cheios de água, usando os operadores aparelhagem de mergulho *scuba*, muito ajudaram na solução de proble-

mas sôbre o emprêgo de ferramentas espaciais na ausência de gravidade. Em experiências para estudar o trabalho na Lua, simula-se a gravidade reduzida pela diminuição de cinco-sextos no pêso do operador, por meio de um braço em forma de garfo, de modo que apenas um-sexto do seu pêso descansa sôbre os pês. Como esperado, acontece que a fôrça que êle pode exercer sem perder o pé é reduzida a um-sexto da que pode aplicar quando os pés lhe suportam todo o pêso, em condições normais de gravidade.

V

VÔO À LUA

As Fotografias da Lua Mudam Nossos Planos?

No dia 31 de julho de 1964 às 6h25m49s, Hora de Luz Diurna do Pacífico (Pacific Daylight Time), a astronave Ranger 7 bateu na Lua, a meio caminho entre as crateras de Guericke e Lubiniezky, depois de irradiar 4.316 fotografias. As imagens recebidas foram tão esclarecedoras que a região onde o Ranger bateu, até então sem nome, ficou batizada de Mare Cognitum.

As fotos foram tomadas com duas câmaras de grande ângulo e duas de ângulo pequeno, construídas para o Laboratório de Jatopropulsão da NASA pela Radio Corporation of America. As fotografias começaram a ser transmitidas dezoito minutos antes do impacto, a uma altitude de 2.400 quilômetros, e só terminaram com a destruição da espaçonave sôbre a superfície lunar. A última imagem foi captada a 300 metros de altura e cobria uma área de 18 por 30 metros. Sua resolução possibilitou distinguir objetos na superfície da Lua separados de apenas 45 centímetros.

Provàvelmente serão necessários meses e mesmo anos para extrair tôdas as informações de interêsse científico dessas fotografias, mas não é prematuro tirar desde logo importantes conclusões sôbre as possibilidades de sucesso do Projeto Apolo(*) —

(*) O autor refere-se ao sucesso final, pois vários vôos já se fizeram, dentro do projeto Apolo. (N. Rev.)

o programa da NASA de levar dois norte-americanos à Lua antes do fim da década.

As figuras do Ranger 7 deram-nos confiança no sucesso de enviar à Lua um enorme foguete.

Certamente, o prolongado vôo de ida e volta de uma astronave Apolo da Terra à Lua, será cheio de dificuldades e perigos. Juntamente com o seu foguete retropropulsor Saturno V, a astronave requer poderosos e seguros motores de foguete, um desenho estrutural sofisticado, complexos cálculos de trajetória e um sistema de direção e navegação extremamente preciso. O êxito da missão depende também do treino dos astronautas e de pormenores que variam desde mecânica celeste e tentativas simuladas até a arte de cozinhar lagartos, como parte das técnicas de sobrevivência no deserto.

Há todavia um aspecto do Projeto Apolo que sempre desafiou teimosamente tôdas as tentativas de investigação científica e melhor compreensão: Como seria realmente a superfície da Lua? Seria ela coberta de rochas e detritos, que tornariam perigosa ou impossível a descida sôbre as pernas de aranha do Módulo Lunar? Seria a superfície de Lua coberta de pó — e nesse caso, de que profundidade? Teria a superfície lunar resistência capaz de agüentar o pêso da nave? Suportaria ela o pêso de um astronauta caminhando, ou de um veículo correndo sôbre ela?

As respostas eram muito evasivas, porque os mais poderosos telescópios, prejudicados pela turbulência da atmosfera terrestre, só podem distinguir objetos de cêrca de dois quilômetros, na superfície da Lua. Agora elas deixaram de ser indefinidas, graças às melhores fotografias do Ranger 7, que tornou essa resolução cêrca de 2.000 vêzes maior.

A primeira apreciação das figuras foi feita pelo dr. Gerard P. Kuiper, eminente astrônomo planetário e lunar da Universidade do Arizona, nascido na Holanda, e pelo dr. Eugene Shoemaker, famoso geólogo do Instituto de Astrogeologia de Flagstaff (contratado pela NASA para ajudar a avaliar os métodos de exploração da superfície lunar), cujo principal interêsse são a topografia e a estrutura da superfície da Lua.

Tentaremos resumir-lhes as conclusões.

As fotografias do Ranger 7 não demonstram a existência de fundas camadas de poeira sôlta. Ao contrário, a superfície da Lua parece bem resistente.

O atual desenho do Módulo Lunar do Projeto Apolo é inteiramente adequado para descer em terreno semelhante ao que foi atingido pelo impacto do Ranger 7. Não há necessidade de qualquer revisão do desenho do Módulo ou do seu trem de alunagem.

Não há necessidade de abandonar a velha teoria de que as crateras lunares foram produzidas há milhões de anos pelo impacto de meteoritos de tamanhos que variam de um quarteirão até um grão de sal. Isso não exclui, contudo, a possibilidade de alguma atividade vulcânica lunar, que tenha produzido também algumas crateras.

As fotografias do Ranger 7 mostram claramente que o modêlo das pequenas crateras, até então invisíveis, não difere fundamentalmente das grandes. Elas simplesmente existem em maior número. Observações sôbre a distribuição estatística das estrêlas cadentes mais brilhantes e mais difusas, na atmosfera terrestre concordam plenamente com êsse modêlo.

Além das crateras, grandes e pequenas, formadas por impacto "direto", há muitas "secundárias" conseqüentes a rochas arremessadas por impactos meteóricos. As figuras mostram que essas crateras tendem a agrupar-se em cachos.

As sombras negras numa cratera secundária reveladas por uma fotografia do Ranger 7 são produzidas por grande rocha denteada que se imobilizou na borda da cratera, prova concludente da resistência da superfície lunar, que deve ser considerável.

Os "raios" conspícuos que emanam de uma das crateras "jovens", como as de Copérnico e Kepler, não são, como se julgou, constituídos de substância fôfa. Teoria mais antiga afirmava que algum material pulverulento, claro, fôra atirado para fora do interior da Lua pelo impacto do meteorito. Outra teoria sugeria serem os raios formados por gases vulcânicos que, escoando-se para fora da ferida causada pelo meteorito, subseqüentemente se congelaram na fria noite lunar sôbre o fundo chão, mais escuro.

Os drs. Kuiper e Shoemacker acreditam que as figuras do Ranger indicam que os raios deveriam antes ser interpretados como caminhos de rochas e crateras secundárias, ao longo dos quais foi arremessada a maioria dos detritos do impacto do meteorítico.

Êles concluem que os raios são áreas particularmente acidentadas impróprias para uma descida segura. Mesmo na área dos raios, supõem, poderão encontrar-se lugares lisos e de amplitude suficente para a comodar um Módulo Lunar.

Discutindo o significado das imagens do Ranger 7, os drs. Kuiper e Shoemaker afirmaram repetidas vêzes que, apesar da sorte grande representada pelas observações sem precedentes, não se poderia esperar, de cientistas, quaisquer declarações ou avaliações afoitas. Contudo, apesar de tôda a sua reserva, fizeram as declarações acima, sem restrições. Como engenheiro, só posso aduzir que qualquer terreno adequado à descida de um M. L. Apolo será bom para andar e para rodar um veículo lunar.

Para alguns, as últimas fotografias do Ranger 7 — embora pròvàvelmente as mais significativas — podem parecer pobres de detalhes espetaculares. Se a Lua é um lugar de aparência tão monótona, valerá a pena visitá-lo? A resposta, naturalmente, é que o Ranger foi apontado para uma área, num dos planaltos escuros (chamados de mares porque os antigos assim pensavam) que desde o príncipio foram considerados como muito apropriados para uma descida com o Módulo Lunar. Muitas outras áreas prometem cenários e mistérios científicos mais espetaculares.

A menos de 300 quilômetros do lugar onde o Ranger caiu está a "Muralha Alcantilada", tremendo penhasco de mais de 100 quilômetros de comprimento e 240 metros de altura, mais íngreme do que as Palissadas do Rio Hudson. Existem formidáveis cadeias de montanhas. Há tôda uma área central do hemisfério sul da Lua, por alguma razão virtualmente coberta de crateras de todos os tamanhos — crateras imbricadas e até crateras dentro de crateras.

Há também a cratera Kepler, centro de um dos grandes sistemas de raios e um dos acidentes mais nítidos da Lua. A Kepler com seus muros e raios é indubitàvelmente uma das áreas mais acidentadas da Lua, mas também um objetivo de pesquisa dos mais curiosos para uma expedição lunar. Que fotografias um outro

Ranger poderia obter se descesse nessa cratera de 40 quilômetros de diâmetro, e nada menos de 3 quilômetros de profundidade! Que é que só uma outra astronave não tripulada poderá dizer, se fôr impossível uma alunagem tripulada?

Por enquanto, pelo menos, o Apolo deve limitar suas ambições e alvos a lugares de descida mais fácil.

Nossas atuais apreciações sôbre a natureza da superfície lunar e suas possibilidades como lugar de descida podem ser resumidas da seguinte maneira.

A superfície é composta de algum material poroso, parecendo rocha, cuja composição química é desconhecida e provàvelmente variável com a localização. A natureza porosa resulta do incessante bombardeio por minúsculos micrometeoritos.

Parece provável que tal saraiva de micrometeoritos seja ainda menos densa na Lua do que numa órbita próxima à Terra, onde até agora não temos prova de que ela tenha pôsto em risco a vida de um astronauta ou avariado nave não tripulada. Contudo a Lua não tem, como a Terra, proteção de atmosfera, e êsse bombardeamento vem acontecendo há milhões de anos. Isso criou na Lua uma fôrça de ação extremamente lenta e modificadora dos aspectos da sua superfície, que podemos chamar de "erosão meteorítica".

Quando, cada período de 10.000 anos, mais ou menos, a queda de um grande meteorito faz aparecer uma cratera lunar grande – digamos, do tamanho da cratera Meteor no Arizona – a própria cratera e o material espalhado para fora dela parecem novos por algum tempo. A cratera apresenta borda bem demarcada. Brilhante conjunto de raios mostra bem a direção em que os detritos foram atirados. Mas a chuva constante de pequenos meteoritos vai aos poucos desgastando as arestas aguçadas. Muitas crateras antigas não têm sistema de raios. Alguns, dentro ou perto dos "mares", dão a impressão de estarem sendo aos poucos enchidos de pó.

Muitos, inclusive eu, sempre afirmaram que não pode haver muito pó sôlto na Lua – mesmo com a chuva incessante de meteoritos a tirar partículas de pó da rocha onde batem. Experiência simples demonstra que o pó, no vácuo, como é o caso da Lua, torna-se duro. Realmente, sem qualquer oxigênio atmosférico em volta, que possa produzir uma camada de óxido capaz de evitar

o contato, as partículas de pó adjacentes se unem por "solda a frio", ganhando consistência de pedra-pome.

É difícil calcular a fôrça de sustentação de um material fundido e poroso como êsse. Mesmo o Ranger 7 não nos forneceu resposta completa e geral. Apesar disso, as qualidades da neve oferecem bom exemplo do que esperar.

A neve cai em várias densidades — desde o "pó" recém-caído até a neve que derreteu e regelou, tornando-se granulada. Mas todos os tipos de neve têm a mesma característica: quando pisada, ela afunda até ficar de tal modo comprimida que agüente o nosso pêso. Se alguns tipos de neve, por fofos demais, não permitem andar nela confortàvelmente, todos os tipos de neve podem ser abordáveis quer com esquis, quer com veículos que seguem trilhas.

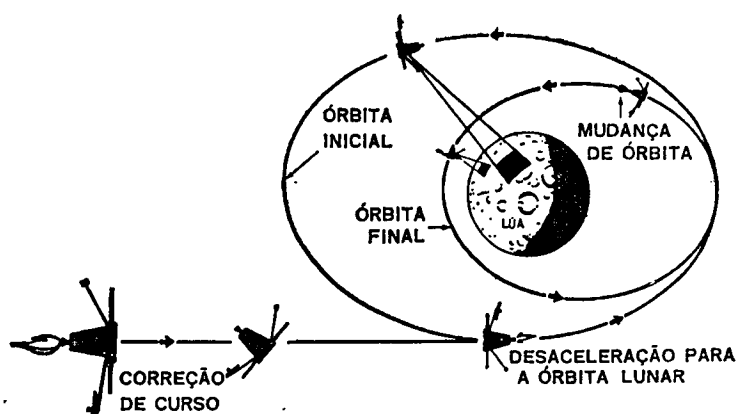
Há razão para acreditar, contudo, que a maior parte da superfície da Lua seja substancialmente mais dura do que a suave neve em pó. Penso que um homem, caminhando num "mar" da Lua, deixará pegada distinta e ouvirá um ruído de esmagamento (propagando até os seus ouvidos através da atmosfera artifical da sua veste espacial). Mas, como o seu pêso estará reduzido a um-sexto do que é na Terra, êle não terá dificuldades para caminhar.

Nave espacial Fotográfica Circunda a Lua

Em junho de 1966 foi lançada a primeira de uma série de cinco espaçonaves-câmaras Lunar Orbiter. Circulando a Lua, ela tirou fotos de extensas faixas de solo lunar, algumas vêzes a apenas 50 quilômetros de distância.

Fotografias de pontos de descida potenciais são o principal propósito dêsses veículos de 400 quilos, não tripulados, dos E.U.A.

Outro objetivo é fotografar grandes áreas de particular interêsse — no outro lado da Lua ou de sua região polar — colhendo profusão de dados topográficos e geológicos.

A fotografia que aqui publicamos mostra bem a forma do Lunar Orbiter. O receptáculo central em forma de abóbora contém o aparelhamento fotográfico. As quatro "pás" negras são painéis solares que geram 266 watts de energia elétrica. Os braços brancos que se estendem lateralmente são antenas — uma em forma de disco, direcional, que enfeixa os sinais para a Terra depois de

Curso de um veículo que se aproxima da Lua e a circunda, a princípio em órbita alta e depois numa baixa, que quase roça a Lua.

corretamente orientada a espaçonave, e outra parecida com uma carretilha de pesca para radiocontato permanente entre a nave e a Terra em caso de desorientação.

O focinho que no alto do modêlo, avança para fora do escudo branco, é parte do sistema de propulsão a foguete de 45 quilos de impulso, que habilita a nave a corrigir o seu curso e trocar de órbita lunar.

Antes do Orbiter 1, a Lua já fôra fotografada de três modos diferentes: numa trajetória curva proxima à Lua (Luna 3 e Zond 3 da Rússia); por impacto direto sôbre a Lua (nossos Rangers 7 e 9) e em suave alunagem (Luna 9 da Rússia e o nosso Surveyor 1).

FOTOGRAFIAS DA LUA POR ESPAÇONAVES

1959	URSS	Lunar 3	Lado afastado,	a cêrca de 70.000 quilômetros
1964	EUA	Ranger 7	Lado próximo,	até a queda (300 metros)
1965	URSS	Zond 3	Lado oposto,	a cêrca de 13.000 quilômetros.
1965	EUA	Ranger 8	Lado próximo,	até a queda.
1965	EUA	Ranger 9	Lado próximo,	até a queda.
1966	URSS	Luna 9	Lado próximo,	sôbre a superfície (após descida suave)
1966	EUA	Suveryor 1	Lado próximo,	sôbre a superfície (após descida suave)
1966	EUA	Lunar Orbiter 1		

(O Luna 10 da Rússia, pôsto em órbita em abril de 1966, não levava aparelhamento fotográfico)

Lunar Orbiter de 2 a 5	Lados próximo e afastado (a cêrca de 50.000 quilômetros)
Surveyor de 10	Lado próximo, sôbre a superfície (após descida suave)

Fotografia a partir de espaçonave em órbita lunar é algo novo. Embora não sejam tiradas de tão perto quanto as obtidas por impacto ou descida suave, têm a vantagem de cobrir uma área muito maior do território lunar a distância ainda bastante pequena para revelar detalhes.

A mesma câmara de um Luna Orbiter tira fotografias alternadamente com teleobjetiva e objetiva grande angular. A rêde composta com as telefotos poderá registrar uma área de 60 quilômetros quadrados tão nìtidamente, que será possível distinguir um objeto do tamanho de uma mesinha de jôgo. A objetiva grande angular fotografa cêrca de 1.000 quilômetros quadrados, com resolução capaz de revelar uma característica qualquer da superfície lunar, não superior a um ringue de boxe.

As sucessivas fotos obtidas com grande angular se sobrepõem. Um par de imagens, como duas fotos aéreas adjacentes da Terra, pode ser colocado num visor estereoscópico e visto em três dimensões — o que muito ajuda na confecção de mapas de contôrno e relêvo. Essa possibilidade é outra das vantagens de fotografias tiradas de órbita lunar.

O filme da câmara de um Lunar Orbiter é longa tira de 70 milímetros de largura. Após a exposição, o seu processamento realiza-se mecânicamente, dando negativo de ótima qualidade.

Para transmitir as imagens à Terra, a técnica de T.V. é bàsicamente a mesma já empregada com o Ranger. Um feixe de luz "varre" o negativo, incidindo numa fotomultiplicadora que converte as variações em claros-escuros correspondentes a flutuações da corrente elétrica. Êsse "equivalente elétrico" é transmitido à Terra, onde se inverte o processo, obtendo-se a reconstrução da imagem fotográfica. O Lunar Orbiter 1 teve algumas dificuldades com o seu equipamento óptico. As fotos com a lente grande angular estavam perfeitas, mas as da teleobjetiva não apresentaram a nitidez esperada por falha no mecanismo de compensação de movimento. Êsse defeito foi corrigido e o Lunar Orbiter 2 transmitiu espeta-

culares imagens da cratera de Copérnico e da Terra, como esta é vista da Lua.

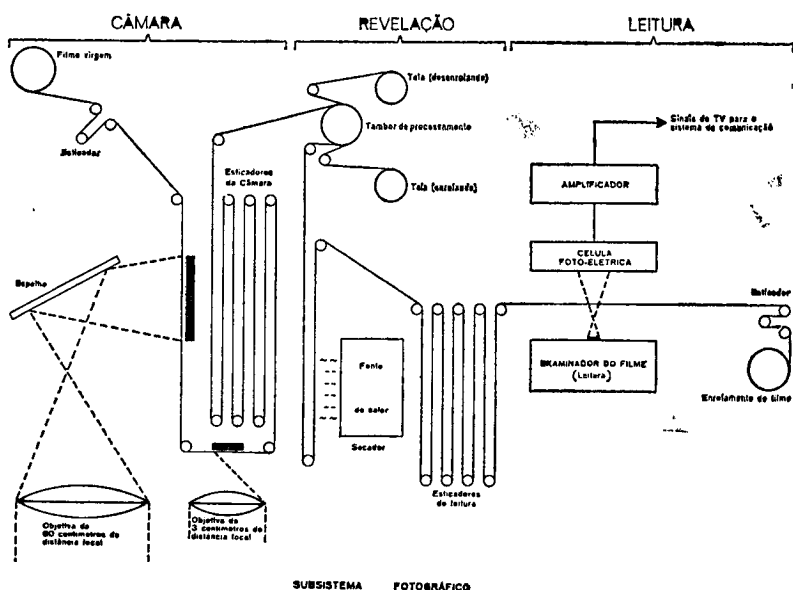
O vôo típico de um Lunar Orbiter segue o seguinte programa: um veículo de lançamento Atlas/Agena arremessa o Lunar Orbiter da plataforma do Cabo Kennedy, na Flórida. O Agena, durante sua primeira ignição após separação do foguete Atlas, coloca a espaçonave em órbita estacionária a cêrca de 200 quilômetros acima da Terra.

A seguir, num instante determinado pelo próprio movimento orbital da Lua em volta da Terra, o Agena é novamente ligado, levando a nave para fora da órbita de estacionamento e em direção à Lua. Ao alcançar a velocidade de cêrca de 13 quilômetros por segundo, o Agena desliga-se e separa-se do Lunar Orbiter, que assim inicia uma viagem sem motor de três dias, até a Lua.

Durante a viagem, e também depois, jatos de nitrogênio gasoso controlam a posição da astronave, mantendo-lhe a antena direcional apontada para a Terra e os painéis solares em direção perpendicular ao Sol. Para êsse fim os jatos são acionados por um par de sensores. Um "sensor solar" mantém-se, como ao eixo longitudinal da espaçonave, sujeito ao Sol — o ponto mais brilhante do céu. Enquanto isso, um "rastreador da estrêla Canopus", olhando de lado, sujeita-se à brilhante estrêla Canopus, contendo assim o rolar do veículo e completando a estabilização da nave no espaço.

Quando o Sol ou Canopus não é visível, um giroscópio ou "unidade de referência inercial", assume o contrôle da posição da espaçonave. Durante curtas passagens através da sombra da Terra ou da Lua, quando os painéis solares são inoperantes, as baterias de níquel-cádmio fornecem eletricidade.

Após uma última correção do curso da espaçonave, já próximo à Lua, entra em ação o foguete-freio. Isso permite que a atração da Lua force a astronave a girar em órbita lunar — inicialmente a grande altitude. (Durante algum tempo o curso de Lunar Orbiter 1 foi atentamente acompanhado, em vista do seu balanço, causado talvez por alguma irregularidade ou falta de simetria na atração gravitacional da Lua, até haver segurança de poder aproximá-lo tanto quanto se desejava). Então, ligando mais uma vez o foguete-freio, a espaçonave muda para uma órbita mais baixa, para fotografar.

SUBSISTEMA FOTOGRÁFICO

Após exposição de todo o seu filme, os Lunar Orbiters transmitem, durante muitos meses, informações sôbre a abundância de micrometeoróides e sôbre o nível de radiação na órbita em tôrno da Lua. As variações graduais de órbitas sem motor também fornecem aos cientistas dados de grande valor sôbre o campo gravitacional da Lua e os efeitos de maré produzidos pela gravidade da Terra. Tôdas essas informações são de interêsse vital para os futuros vôos tripulados (Apolo-Saturno) à Lua.

A administração dos sistemas do programa Lunar Orbiter pertence ao Centro de Pesquisas Langley, da NASA. A direção geral, em Washington, é no Escritório de Ciência Espacial e Aplicações, também da NASA. A empreitada principal é da Boeing Company, servindo a Eastman Kodak e a RCA como subempreiteiras, respectivamente para os subsistemas fotográfico e eletrônico. A avaliação dos resultados está sendo coordenada pelo Laboratório de Jatopropulsão Langley-NASA, pela NASA-Houston, pelo U.S.A. Geological Survey, pelo Air Force Aeronautical Chart and Information Center e pelo Army Map Service.

A Armada Marítima e Aérea

Uma frota de navios e aeroplanos distribuídos em volta do globo servirá de estações subsidiárias que retransmitirão ordens e dados de vôo nos momentos críticos da missão à Lua dos nossos astronautas do Apolo. As estações aéreas e marítimas completarão uma nova rêde de comunicações estabelecida para os vôos espaciais Apolo, com três homens, que se seguem às séries já terminadas dos Mercurys, com um tripulante, e dos Gemini com dois.

Vôos espaciais tripulados requerem elos de rádio de tôda a confiança, para rastreamento do curso da espaçonave, recepção de dados científicos e operacionais telemetrados e comunicação oral para relatórios e ordens entre os astronautas e o Centro de Contrôle de Missões, em Houston, Texas. Enquanto uma espaçonave estiver na linha de visão de uma de nossas estações espalhadas em Terra, essa necessidade estará satisfeita. Mas, como 7/10 da Terra são cobertos de água, o programa Gemini precisou de três navios eletrônicos auxiliares — o *Rose Knot Victor*, o *Ranger Tracker* e o *Coastal Sentry Quebec*. Os vôos Apolo necessitam de número ainda maior de estações subsidiárias.

A nova rêde emprega cinco navios recentemente adaptados ao serviço de rastreamento e comunicações — o *Vanguard*, o *Redstone*, o *Mercury*, o *Watertown* e o *Huntesville*. Dois dêles servem de base ao vôo Apolo, tripulado, em órbita terrestre; todos os cinco servirão na expedição à Lua.

Cada navio é equivalente a uma estação terrestre completa, flutuante. Nelas realiza-se rastreamento, a telemetria e a transmissão de voz. Cada uma delas tem dois elos independentes com a Terra: um por circuito oral de alta freqüência e outro via Satelite Comsat. Os navios têm a velocidade de 12 nós (22 q.p.h.) e podem permanecer no mar durante dois meses.

Para o vôo à Lua, um navio será colocado no Atlântico a este da plataforma de lançamento da Flórida, para cobrir a parte final da primeira fase — a colocação da espaçonave Apolo em órbita estacionária em tôrno da Terra. A entrada segura em órbita e os dados orbitais necessários serão assim transmitidos ao Centro de Contrôle de Houston.

Dois navios, um no Oceano Índico e outro no Pacífico, suplementarão as estações terrestres na colheita de dados e rastreamento, no momento crítico da entrada, sem motor, na trajetória à Lua.

Os dois navios restantes provàvelmente ficarão no Pacífico para ajudar no restreamento e nas comunicações durante a reentrada da espaçonave na atmosfera terrestre. Êles poderão também ser chamados para recolher a espaçonave e sua tripulação após a queda no mar — bem ao lado oeste do Hawai, de acôrdo com os planos atuais.

Oito aviões de comunicações também deverão ajudar no vôo lunar. São transportes a jato da Air Force, adaptados e equipados não só para rastreamento mas também para telemetria e comunicação oral. Assim, os astronautas poderão conversar com a tripulação dos aviões ou, por intermédio dêles, com o Centro de Contrôle de Houston. Os aviões têm velocidade máxima de 1.000 quilômetros por hora e podem permanecer no ar, com carga total, cêrca de 12 horas. Uma enorme protuberância na ponta é a parte externa mais visível das transformações empreendidas para o Apolo. Contém ela uma antena em disco de dois metros de diâmetro, destinada a varrer o céu, conjugada ao sistema de comunicação da espoçonave.

Tão elaborada rêde de comunicações é necessária, não pela distância de 400.000 quilômetros até a Lua, mas pelo movimento da Lua em tômo da Terra. Se o objetivo de um vôo espacial fôr simplesmente entrar em órbita da Terra, a partida pode dar-se a qualquer momento em que a turma de lançamento esteja pronta. Mas, quando devemos encontrar-nos no espaço — seja com um Agena seja com a Lua — o lançamento deve ser sincronizado de acôrdo com a sua posição em órbita.

Desse modo, o sucesso do encontro do Gemini 11 com um Agena, em sua primeira órbita, deveu-se à sincronização perfeita, de fração de segundo, entre a posição do Agena e o lançamento do Cabo Kennedy.

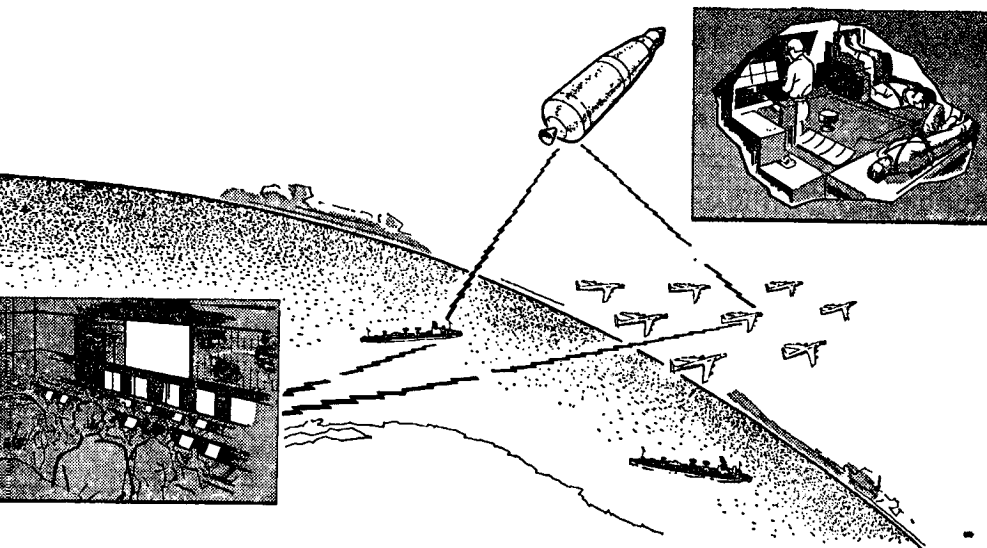
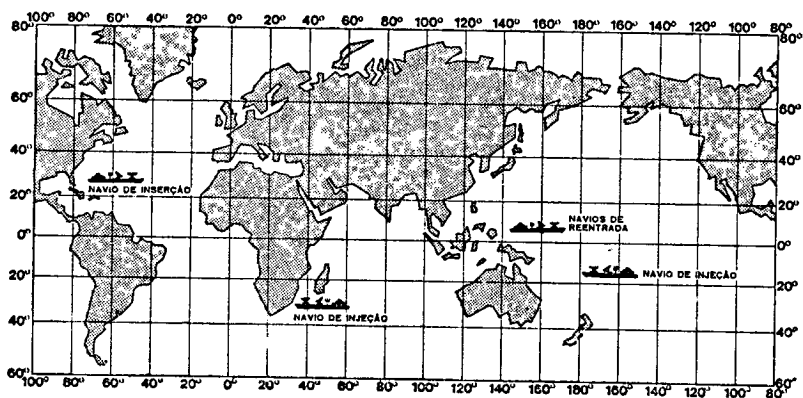
O plano de vôo à Lua oferecerá, por outro lado, uma "janela de lançamento" de várias horas, diárias, e permitirá manter o terceiro estágio do Saturno em órbita de estacionamento, onde sofrerá revisão final antes de continuar a viagem à Lua. Mas a sincronização de fração de segundo estará apenas transferida da plataforma de lançamento para o instante da reignição do terceiro está-

gio do Saturno V, que leva a astronave da órbita terrestre em direção à Lua.

A órbita de estacionamento desejada é fixa no espaço. A Terra gira sob ela. Como pequenos detalhes técnicos fazem passar o momento de lançamento, o azimute de lançamento do foguete Saturno deve variar continuamente — digamos, de nordeste para sudeste, entre o princípio e o fim de uma janela de lançamento de três horas. Para a direção sudeste talvez seja possível fazer o rastreamento de precisão por meio da estação da ilha de Antígua. Mas na direção nordeste talvez o ponto de inserção em órbita a menos de 10 graus acima do horizonte de Antígua, tão baixo que não permite confiar nos dados obtidos. Assim, será necessário um navio rastreador de "inserção", para favorecer a primitiva opção de lançamento.

Quando da injeção em trajetória lunar, a posição da espaçonave deve sempre estar na vizinhança do assim chamado antípoda lunar: é o ponto, na superfície da Terra, onde a extensão de um eixo que ligasse a Lua ao centro da Terra sairia do lado oposto. Em razão da rotação da terra e do próprio movimento da Lua, êsse ponto pode cair em qualquer longitude e latitude do globo. Num dado dia, sua localização exata varia, dependendo de onde estêve cedo ou tarde, na janela de lançamento, e de se a injeção se dá durante a primeira, segunda ou terceira órbita terrestre. Além disso, sendo determinada pela posição da Lua em sua órbita em tôrno da Terra, ela varia com a data de lançamento.

Os aviões do plano Apolo são suficientemente móveis para buscar o ponto de injeção, assegurando comunicação ininterrupta, nessa fase crítica — a "queima" completa do terceiro estágio após sua reignição e os seguintes vinte minutos de vôo, durante os quais se decide partir para a Lua ou interromper a expedição.

Para a reentrada de volta, a rêde Apolo de mar e ar é maior ainda. Se essa manobra não é conduzida com a precisão planejada, a astronave pode saltar fora da atmosfera antes de tornar a cair após o término de uma trajetória balística. Em caso de emergência como êsse, os astronautas poderiam talvez errar o ponto de queda por centenas de quilômetros. Torna-se imperioso um rastreamento preciso para assegurar o seu salvamento com rapidez e segurança, principalmente se tiver de ser realizado com mau tempo. Daí a razão da enorme frota de quarenta e oito aviões espalhados por todo o globo, com modernos aparelhos rastreadores, que

Navios e aviões ligam os astronautas do Apolo ao centro de contrôle de Houston, para decisões sôbre a partida, ou não, para a Lua. A decisão de "ir" ou "não ir" tem de ser tomada não antes de vinte minutos após o terceiro estágio do Saturn V impelir a astronave da órbita terrestre ao curso para a Lua, momento crítico do vôo, quando a tripulação da astronave pode encontrar-se fora da visão e do alcance das estações terrestres.

Disposição típica dos navios de suporte à missão lunar

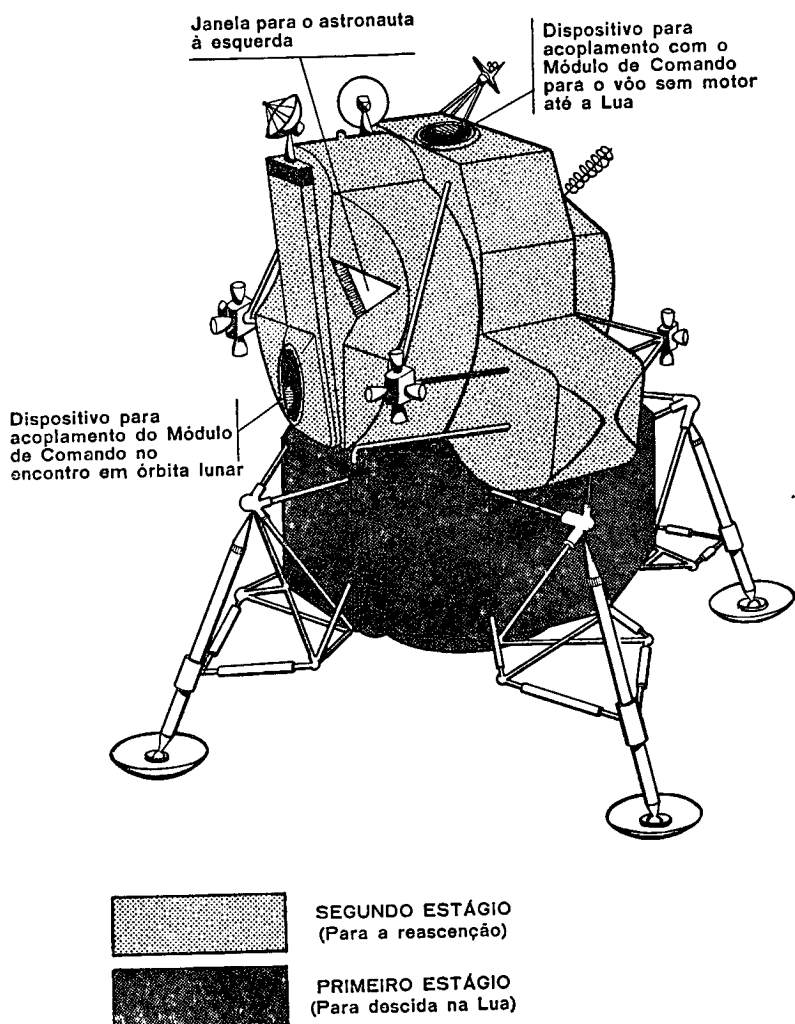
estará pronta para suplementar a frota usual de recuperação de espaçonaves. Os aviões rastreadores localizam a cápsula que chega, seguem-na e dão-lhe assistência onde quer que ela desça.

Janela para o astronauta à esquerda

Dispositivo para acoplamento com o Módulo de Comando para o vôo sem motor até a Lua

Dispositivo para acoplamento do Módulo de Comando no encontro em órbita lunar

SEGUNDO ESTÁGIO
(Para a reascenção)

PRIMEIRO ESTÁGIO
(Para descida na Lua)

Os Astronautas Descerão na Lua De Pé

No momento de descer na Lua, os astronautas não estarão sentados, mas de pé, suspensos por tiras. Isso dar-lhes-á maior liberdade de ação, mais ampla visão e economizará pêso.

No Projeto Apolo (nosso programa de descida na Lua), a alunagem pròpriamente dita será efetuada por um veículo separado chamado de Módulo Lunar, ou LM. (Ver o esbôço). Êsse veículo de dois estágios, movido a foguete e com dois astronautas a bordo, destacar-se-á da nave-mãe, a combinação Módulo de Comando e Serviço (CSM) – que permanecerá em órbita em tôrno da Lua com um terceiro astronauta como "guarda-navio".

O LM diminui a velocidade orbital em tôrno da Lua e desce tocando o solo lunar sob a potência do seu motor-foguete da fase de alunagem, motor cuja alimentação é regulável por estrangulamento.

O vôo de volta à órbita circunlunar e a manobra de encontro com o CSM são realizados com o segundo estágio do LM. Êsse estágio tem seu próprio motor de foguete e tanques de combustível, usando o seu primeiro estágio extinto como plataforma de lançamento sôbre a Lua.

O compartimento dos astronautas está no estágio superior ou segundo estágio – o qual, durante a descida, é a carga do primeiro estágio, o estágio de aterrissagem.

Em princípio seria possível, naturalmente, dar aos astronautas a boa visão necessária modelando-se o compartimento da tripulação como a tôrre de comando em bola, de Plexiglas, de um pequeno helicóptero. Contudo essa solução teria certo número de desvantagens.

Em primeiro lugar, não há espaço para uma janela panorâmica. Quase todo o espaço do LM é ocupado por instrumentos e visores, mais do que os de um grande avião de carreira. E é fácil compreendê-lo. Além do contrôle do vôo de dois estágios independentes do LM, os astronautas devem estar habilitados a realizar grande número de tarefas e manobras precisas de descida sôbre a superfície da Lua, e ainda o encontro em órbita lunar com o CSM.

Os astronautas precisam também verificar contìnuamente os seus sistemas salva-vidas. Caso a área de aterrissagem se mostre imprópria, êles devem estar preparados para interromper a ater-

rissagem, voltar imediatamente à órbita lunar e encontrar-se com o CSM. Deverão comunicar-se com o CSM e com a Terra. Devem estar habilitados a realizar tôda manobra de navegação necessária para corrigir os erros que possam haver atrapalhado a primeira tentativa de encontro. O LM está equipado para tudo isso, e leva ainda um sistema próprio de comando direcional por inércia.

Acresce que há mais um outro compartimento, em forma de bulbo, que concorre para o aumento de pêso; pois, ao contrário do que acontece num helicóptero, o LM deve ser pressurizado.

Finalmente, para tocar no solo da Lua os astronautas devem ter boa visão para baixo. Naturalmente evitarão obstáculos locais e também gostariam de verificar se a superfície do ponto de aterrissagem escolhido tem fôrça de sustentação suficiente para suportar e perna dianteira do trem de aterrissagem. (Se não tiver, êles podem acelerar o motor de aterrissagem e tentar encontrar um lugar melhor por perto.) Além de boa visão para baixo será preciso boa visão *para cima,* visando a manobra, igualmente precisa, de encontro e acoplamento com o CSM após sua excursão de aterrissagem.

Outro fator: Os astronautas são muito atrapalhados quanto à sua liberdade de movimentos e campo de visão pelas vestes espaciais e capacetes.

Tôdas essas considerações levaram à adoção de um modêlo segundo o qual os astronautas ficarão de pé durante tôda as fases do vôo LM.

Êles serão presos a correias do tipo pára-quedas, ligadas a tiras suspensas do teto. Êsse arranjo é muito conveniente porque facilita aos astronautas o alcance das inúmeras chaves e a visão de todos os mostradores dentro do pequeno compartimento da tripulação do LM. Mais ainda, êles podem virtualmente apertar o nariz de encontro às janelas relativamente pequenas, obtendo assim perfeita e ampla visão do exterior.

Mesmo para a descida de um helicóptero na Terra, nada errado haveria na posição de-pé, para qualquer dos membros da tripulação. No LM há ainda menos restrições quanto à escolha de postura. A Lua tem apenas um-sexto da gravidade da Terra. Assim, durante tôdas as manobras de descida e subida, as acelerações dentro do LM nunca excederão 1 g. No caso de descida excessivamente abrupta, um sistema de suspensão bem desenhado pode até

ser mais seguro do que um assento convencional de pilôto, em razão da maior distensão dos amortecedores de choque inseridos nas tiras de suspensão.

A conseqüente economia de pêso também é importante. Cada quilo do LM levado até a Lua e, de volta, até ao ponto de encontro da órbita lunar, é pesadamente sobrecarregado com mais de 50 quilos de pêso de partida original, da Terra. A adoção do conceito "pendurar em tiras" reduz substancialmente o pêso do LM pelo decréscimo do tamanho das janelas da cabina pressurizada e — naturalmente pela omissão dos próprios assentos, sem dúvida bastante pesados.

Praticando Alunagem na Terra

Muito antes de os nossos primeiros astronautas do Apolo descerem de uma órbita lunar no solo da Lua, terão praticado essa manobra de precisão na Terra. Treinarão com um estranho veículo voador chamado de Veículo de Pesquisas sôbre Alunagem (LLRV, de Lunar Landing Research Vehicle), construído para simular descida na Lua.

Duas dessas naves foram entregues na primavera de 64 ao Centro de Pesquisas de Vôo da NASA, na Edwards Air Force Base, treze quilômetros ao norte de Los Angeles e bem no coração do Deserto Mojave — lugar muito parecido com a paisagem estéril da Lua. Ao fim de 64 tôdas as experiências de vôo estavam satisfatòriamente concluídas. Desde então os LLRV vêm cumprindo a sua missão — ajudar engenheiros e astronautas a familiarizar-se pràticamente com os problemas da colocação de um veículo tripulado na Lua.

Como um LLRV deve simular uma descida na Lua, examinemos primeiro as tarefas que êle deve copiar.

No Projeto Apolo, dois dos três astronautas em órbita em tôrno da Lua se transferirão de sua cápsula, ou Módulo de Comando, para o Módulo Lunar, ou LM. O LM, em essência, é uma nave-foguete de dois estágios. Quando ela desce de sua órbita lunar sob a fôrça, regulável, do motor do primeiro estágio, a velocidade horizontal é gradativamente reduzida. A umas poucas dezenas de metros acima da superfície da Lua o LM deverá pai-

rar imóvel, enquanto os astronautas selecionam um lugar adequado para alunar.

A manobra de descida pròpriamente dita assemelha-se à de um helicóptero, no qual a alavanca de contrôle de impulso dos motores do foguete substitui a alavanca de contrôle de inclinação. Amortecedores nas quatro pernas do trem de alunagem, muito parecido com a pernas de uma aranha, deverão cuidar do primeiro e, ao que esperamos, suave contato com o solo lunar.

A viagem de volta da superfície da Lua ao Módulo de Comando em órbita se faz graças ao foguete do segundo estágio do LM. O compartimento pressurizado da tripulação de vôo, que serviu como passadiço de vôo durante a descida sob a fôrça do primeiro estágio, constitui parte do segundo estágio.

O Veículo de Pesquisas sôbre Alunagem precisa fazer as seguintes coisas:

> Simular o mais realìsticamente possível a parte final da descida do LM da órbita, ou seja, de 300 metros de altitude e velocidade horizontal de 70 quilômetros por hora, até o contato com a superficie lunar. Compensar a fraca atração gravitacional da Lua, cêrca de 1/6 apenas da gravidade da Terra.
>
> Levar em conta a falta de atmosfera na Lua.
>
> Simular a parte inicial da ascensão na Lua do segundo estágio do LM.
>
> Permitir a simulação de uma "descida abortada" na Lua. Se os astronautas decidirem, segundos antes de tocar o solo, que o terreno escolhido não parece apropriado a uma descida em condições de segurança, os planos estabelecidos exigem a volta imediata ao Módulo de Comando em órbita.
>
> Proporcionar máxima segurança ao pessoal e aos veículos. Especìficamente, ser tão seguro que a falha de uma única peça não possa causar queda desastrosa. Proporcionam também ejeção ou possibilidade de saltar de pára-quedas em condições de segurança para o pilôto até a altitude zero.

São essas as especificações a que o fabricante do LLRV, a Bell Aerosystems Co. de Niagara Falls, New York, procurou atender. O LM muitas vêzes tem sido chamado de percevejo (The Bug); o

LLRV, que lhe simula o trabalho, poderia ser chamado de Cama Voadora (The Flying Bedstead).

Com três metros de altura, suas quatro pernas em treliça são separadas de cêrca de 4 metros. Completamente abastecido de combustível pesa cêrca de 1.300 quilos.

A tôrre aberta, plataforma a uns dois metros acima do solo, estende-se à frente da armadura principal entre as duas pernas dianteiras. Ela acomoda apenas o pilôto. Seu equipamento consiste num painel de instrumentos, um banco lateral, três alavancas de comando (duas para fôrça e outra para contrôle da inclinação e giro), um par de pedais-lemes e um sistema para respiração com oxigênio, que serve para proteger o pilôto contra a fumaça do foguete.

A força ascencional do LLRV provém quase tôda de um motor turbojato General Eletric CF 200-2V. É em realidade um motor a jato J85 com adição de um ventilador traseiro, que aumenta o seu impulso de velocidade nula de 1.250 para 1.850 quilos. Montado em anel báscula, o motor é giroscòpicamente apontado para baixo, mesmo quando o aparelho é inclinado. Para simular descida na Lua, seu impulso é reduzido a exatamente cinco-sextos do pêso do veículo.

A sexta parte do pêso restante é suportada por dois foguetes aceleráveis a peróxido de hidrogênio de duzentos quilos de impulso máximo, cada um. Montados na estrutura mestra do LLRV, inclinam-se com êle. Dêsse modo simulam o impulso do motor regulável de descida do LM. O motor turbo-jato simplesmente cancela o excesso de gravidade da Terra sôbre a gravidade da Lua.

Oito pequenos motores, também alimentados a peróxido de hidrogênio, controlam a posição do LLRV. Cada foguete de posição é acionado por válvula solenóide individual, do tipo liga-desliga. Como num pequeno avião, o pilôto controla a inclinação por movimentos de alavanca para frente e para trás, e as curvas por movimentos para esquerda e direita. Pedais possibilitam o contrôle de desvios. Alavancas e pedais são elètricamente sincronizadas às válvulas solenóides.

Dêsse modo o LLRV imita em tudo o comportamento do LM — mudança de posição e aceleração, e resposta ao contrôle — em condições reais de gravidade igual a um-sexto da gravidade terrestre idênticas à da Lua.

Para simular descida na Lua, o LLRV sobe até a altitude desejada por meio do seu motor turbo-jato, com as básculas travadas em posição. Então, inclinando-se dez graus para a frente, é acelerado pela componente horizontal da fôrça ascensional do motor a jato. Quando o veículo atinge as condições desejadas para começar a descida simulada na Lua — a 300 metros de altitude e 70 quilômetros por hora de velocidade horizontal — a báscula do motor a jato é destravada, para permitir que o estabilizador giroscópico se mantenha na "verdadeira vertical", e seu impulso é diminuído para cinco-sextos do pêso da nave.

Como êsse pêso varia com o consumo de combustível, um computador isolado comunica ao motor o impulso exato para manter êsses cinco-sextos permanentemente. Possíveis efeitos de vento podem ser contrabalançados por sofisticado processo de pilotagem. Acelerômetros captam e identificam qualquer aceleração lateral ou longitudinal que, não podendo ser justificada pela ação dos foguetes de ascensão ou contrôle de posição, deve ser causada pelo vento. Em resposta, os "atuadores" de báscula desviam o motor a jato apenas o suficiente para compensar o efeito do vento.

Por segurança, o LLRV tem um conjunto-reserva de seis foguetes ascensionais de 200 quilos de impulso, e outro de foguetes de contrôle de posição. No caso de descida forçada sem motor e de grande altura muito ajudará um pára-quedas de retardamento(*) de mais de seis metros. Como último recurso, o pilôto pode usar um mecanismo de ejeção, catapulta experimnetada com sucesso mesmo ao nível do solo. Havendo altura suficiente, basta saltar de pará-quedas.

Um LLRV voou pela primeira vez em 30 de outubro de 1964 com o falecido Joseph A. Walker, então pilôto-chefe de pesquisas do centro da NASA em Edwards. No ano seguinte, realizaram-se mais de duas dúzias de vôos de quatro a cinco minutos em média, atingindo cêrca de 250 metros de altitude, que serviram bem para provar o trabalho dêsses veículos.

Completada essa primeira fase, os LLRV agora praticam descida na Lua. Até o momento em que escrevo, mais de duzentas descidas simuladas já foram realizadas na base Edwards. Dois LLRV serão transferidos em breve para o Centro de Vôos Tripulados de Houston para aí serem usados nos treinos dos astronautas.

(*) *Drogue parachute.*

O Que Um Astronauta Vestirá na Lua

As vestes espaciais com que os astronautas caminharão na superfície lunar vêm sofrendo longo processo de evolução a partir da roupa de mergulhador, de lona de borracha, encimada por um capacete cilíndrico de metal, com que Wiley Post, em 1934, tentou bater o recorde mundial de altitude.

A lista dos requisitos para as vestimentas Apolo é tão longa e contraditória que por muito tempo as pessoas mais afeitas ao problema expressaram sérias dúvidas sôbre a possibilidade de realização dêsse empreendimento.

A título de exemplo vamos enumerar alguns dos requisitos de uma veste lunar:

> Proteger contra o vácuo espacial quando o módulo de comando ou a cabina da tripulação é despressurizada — ou quando o astronauta estiver fora dela.
>
> Manter confortável a temperatura circundante em tôdas as situações seguintes: dentro do módulo de comando, que tem ar condicionado. Fora do módulo de comando, tanto à luz brilhante do Sol, como na sombra da Terra, durante os vôos sem motor através do espaço e sôbre a superfície lunar de dia e à noite.
>
> Ter mochila cujo suprimento de oxigênio dure várias horas e possa ser renovado por simples ligação ao suprimento de oxigênio da nave, durante várias semanas.
>
> Possibilitar a alimentação do astronauta em condições de gravidade nula sem que a atmosfera da veste deixe de ser estanque.
>
> Permitir a comunicação oral quando o módulo de comando está despressurizado e os três astronautas têm portinhola facial aberta, pelo rádio; fora da nave e na superfície da Lua.
>
> Dar ao astronauta razoável grau de proteção contra os micrometeoritos quando êle estiver caminhando na superfície da Lua.
>
> Permitir recolher e guardar detritos corpóreos com possibilidade de eliminação posterior.

Permitir andar confortàvelmente sôbre terreno acidentado na Lua (cuja gravidade é apenas um-sexto da terrestre) com a veste pressurizada e a janela facial fechada.

Não impedir que o astronauta volte a ficar de pé se por acaso tropeçar e cair, não ficando de costa como um besouro.

Permitir trabalhar com alguma destreza manual, com as luvas e veste espaciais pressurizadas.

Dar leveza e flexibilidade — mas com resistência para evitar perigosos rompimentos devidos às formações rochosas de pontas agudas da Lua.

Ser fácil de vestir e desvestir no apertado espaço do módulo de comando, em condições de gravidade nula e sem auxílio.

As necessidades dêsses doze tópicos são tão evidentes como as dificuldades para satisfazê-las. Já foram comparadas a uma "lista de compras de Papai Noel".

A veste Apolo é a resposta a êsse respeitável conjunto de especificações. Foi desenvolvida pela Hamilton Standard Division of United Aircraft, em Windsor Locks, Connecticut, sob contrato com o Manned Spacecraft Center da NASA, em Houston, Texas.

Para melhor descrever essa nova roupa Apolo será melhor ir passo a passo, começando de dentro para fora.

Para dispersar eficientemente o calor do corpo, a parte mais interna é um conjunto de tubos refrigerados a água, usados diretamente sôbre a pele.

Imagens de astronautas do Mercury, saindo de suas cápsulas ensopados de suor, determinaram de modo muito expressivo a necessidade de resfriamento positivo para o homem hermèticamente encerrado numa veste espacial. O oxigênio que circulava através da veste Mercury antes do lançamento e durante o vôo era também empregado para remover o calor do corpo. Mais tarde verificou-se que a água, circulando por tubos de plástico, entrelaçados em rêde numa camisa, era muito mais eficiente — e é hoje usada na veste Apolo.

O calor absorvido pelos tubos de resfriamento é dissipado por um "sublimador", placa porosa contida na mochila do astronauta. É uma nova espécie de radiador para condições espaciais. A água

quente dos tubos de resfriamento é sugada para dentro dos poros de uma placa cujo lado oposto fica exposto ao vácuo espacial. A água gela nos poros em razão da queda de pressão e evaporação. Com a sublimação (evaporação sem derretimento) do gêlo resultante no vácuo exterior, a "rôlha de gêlo" de cada poro vai ficando cada vez mais fina até arrebentar. O poro enche-se de água outra vez e o ciclo recomeça. Assim a placa porosa serve de mecanismo estacionário de rejeição de calor.

A seguir, sôbre a camisa resfriada à água, vem uma leve camada de nailon, cuja textura e função podem ser melhor comparadas às de uma camisa com tubos de oxigênio e conexões com instrumentos médicos, ligadas ao corpo do astronauta.

Depois vem a camada mais compacta de "pressurização", pesada bexiga de nailon revestida de uma camada de neoprene. Sua função principal é manter dentro da veste a atmosfera de oxigênio puro, a uma pressão absoluta de 350 gramas por centímetro quadrado — cêrca de um têrço da pressão atmosférica à superfície da Terra.

Como era de esperar, a necessidade de movimento nas juntas dos braços e pernas, e mesmo dos quadris, apresentou problema dos mais difíceis. Acontece que qualquer junta flexível em forma de L, salvo se dotada de configuração especial, tem, sob pressão, uma tendência natural a endireitar-se. Isso significa que o astronauta assim enjaulado teria de usar a fôrça bruta (e não pouca) para dobrar o braço ou perna.

A resposta a êsse problema é a "junta em convolutas", uma articulação em fole de borracha, desenhada de modo que não se altere o seu volume quando dobrada. Muito complexo sistema interno de nailon e arame, evita que os foles sofram expansão como sanfona com excesso de pressão.

Outros elementos vitais ligados à camada de pressurização são as conexões das botas e luvas de pressão e o anel do capacete. As botas e luvas ligam-se à veste por meio de anéis de conexão rápida e mancais-sêlo que evitam a fuga de oxigênio. O capacete de fibra-de-vidro da veste Apolo pode ser girado sôbre os ombros do astronauta, se êle assim o quiser, quando gira a cabeça.

Uma camada mais externa de nailon serve de contenção, envolvendo a camada de pressurização. Por fora ela é aluminizada.

Sôbre a superfície lunar um astronauta do Apolo vestirá ainda uma roupa larga de duas peças — calças e uma espécie de colête aluminizado de mylar e nailon — que serve de "casaco térmico". Isso servirá para protegê-lo das temperaturas extremas das áreas batidas pelo Sol e das de sombra, na Lua. Servirá também de proteção contra micrometeoritos do tamanho de grão de sal, cujo perigo justifica essa proteção extra. Êsse casaco é contornado para ajustar-se sôbre o salva-vidas e a mochila de comunicações.

Esta é uma prévia do modo como os astronautas do Apolo estarão vestidos para a grande aventura de pôr os pés sôbre o primeiro dos corpos celestes a ser explorado pelos terrenos.

O Que Faremos na Lua

O que farão os astronautas quando chegarem à Lua?

Mesmo as primeiras expedições, mais curtas, já iniciarão um fascinante programa de exploração destinado a solver antigos mistérios da Lua. Será um programa de muitas facêtas que, mais tarde, com naves espaciais mais avançadas, será atacado de modo diferente, pois haverá possibilidade de excursões mais longas e prolongadas.

Muitos detalhes sôbre o que fará a primeira turma que descer na Lua, após deixar o terceiro homem em órbita, já foram publicados pela NASA.

Desde o momento da descida até a subida êles deverão permanecer na Lua por dezoito horas. Por duas vêzes, ambos deverão sair por um alçapão do Módulo Lunar e, juntos, à aventura na Lua — durante três horas cada vez. O resto do tempo será empregado em vistorias da espaçonave, aparelhos de comunicações e salva-vidas, com um período de seis horas entre as duas excursões, para comer e dormir.

Uma das atividades principais durante as seis horas de exploração será a colheita de amostras de rochas que deverão ser trazidas para estudo. Deverão também tirar fotografias do terreno lunar e inspecionar e medir as "pegadas" da nave no solo. Finalmente deverão dispor sôbre o solo da Lua, a uns seguros cem metros de distância do ponto de partida, uma rêde de aparelhos científicos que ficarão transmitindo automàticamente para a Terra durante pelo menos um ano.

Recentemente se apresentou um simulacro dêsse Apolo Lunar Scientific Experiment Package (ALSEP), no Centro de Vôo Espacial Tripulado da NASA, em Houston. São vários instrumentos para observar as vizinhanças do terreno e outros para sondá-lo, por meio de um lança-granada, para provocar ondas sísmicas, e um sismômetro para gravá-las. Uma bateria atômica chamada SNAP-27, que está sendo construída especialmente para o ALSEP, terá fonte termelétrica de 50 watts de potência. Os astronautas nela colocarão a sua cápsula combustível de plutônio após a descida na Lua.

Dêste modesto comêço desdobrar-se-á um vasto projeto de exploração lunar, destinado a responder a perguntas de tôda sorte, como as que se seguem.

Haverá organismos vivos na Lua, talvez completamente diferentes de qualquer outro da Terra? Pesquisas microbiológicas de amostras de terreno superficial e profundo da Lua deverão dizê-lo. Essas amostras também deverão ser pesquisadas quanto às substâncias orgânicas primevas, como aquela das quais se originou a vida na Terra, oxigênio, e traços de água que possa extrair-se de material da Lua para ajudar a sustentar futuras bases lunares. Os geologistas estarão ansiosos por identificar os minerais e deduzir a maneira pela qual se formaram.

Haverá traços de atmosfera lunar e em que quantidade? Como deve ser tão rarefeita que até mesmo os motores a foguete do Módulo Lunar podem contribuir substancialmente para a sua formação, urge que os cientistas a estudem o mais depressa possível.

Que estará acontecendo em crateras da Lua como a de Alphonsus, que mostra sinais de atividade? Essas crateras tèrmicamente ativas, os "mares" e os planaltos cheios de crateras serão os três tipos de terreno lunar de interêsse para os exploradores.

Como nasceu a Lua? Foi arrancada da Terra em fusão pela gravidade solar, ou condensou-se, juntamente com a Terra, da mesma nuvem de gás em rotação? Ou foram a Lua e a Terra construídas juntas a partir de fragmentos sólidos girando desordenadamente em tôrno do Sol — a teoria da "agregação" agora em voga? A investigação da história da Lua é uma das principais questões de uma lista de quinze perguntas sôbre a Lua preparada pela National Academy of Sciences em estreita colaboração com a

NASA. Isso é importantíssimo, pois muito nos poderá contar acêrca do passado da própria Terra. As marcas do nascimento de nosso planêta podem ter sido virtualmente erradicadas por fôrças erosivas como vento, chuvas, enchentes e vegetação, mas as da Lua deverão estar preservadas.

Para responder a essas perguntas os astronautas terão a ajuda de vários instrumentos de pesquisa e colheita de material:

> Conchas de longos cabos para colhêr rochas soltas, balanças simples para pesar e receptáculos seláveis para elas.
>
> Perfuradoras para colhêr amostras profundas e sondas para medir temperaturas de três a 30 metros de altura.
>
> Aparelhos sísmicos para obter dados sôbre a estrutura interior da Lua.
>
> Gravímetros e magnetômetros para medir variações locais dos campos magnéticos e gravitacionais da Lua.
>
> Receptáculos para amostras e aparelhamento para análise de gases a fim de estudar a atmosfera lunar.

As primeiras descidas na Lua levarão carga científica limitada a apenas 110 quilos e não irão muito além da descida, no que respeita a atividades na superfície. Êsses módulos lunares não estarão habilitados a uma permanência superior a 48 horas e grande parte dêsse tempo precisa ser empregado em vistorias da própria nave, para o vôo de volta. A permanência deve também ser curta para evitar fadiga. Durante a sua viagem de duas semanas de ida e volta à Lua, a tripulação deverá ver-se a braços com a mais extenuante, árdua e precisa manobra de tôdas — a introdução e reentrada na atmosfera terrestre em esbraseante velocidade de 1.000 metros por segundo, quase 40.000 quilômetros por hora. O principal será provar a possibilidade do próprio vôo em si.

Vôos subseqüentes, com astronaves mais avançadas, permitirão estadas mais prolongadas na Lua. Cargas líquidas maiores darão aos exploradores ferramentas maiores (como perfuradoras de profundidade) e veículos para longas excursões, bem afastadas do lugar de descida. Então virá o dia de glória da exploração lunar. Uma das duas novas concepções para alunagem, que parece particularmente promissora, é chamada de Módulo Lunar Aumentado, (ALM, de Augmented Lunar Module). Ela visa a tirar par-

tido da provável capacidade do veículo de lançamento Saturn V de atirar em direção à Lua uma carga líquida maior do que a originalmente especificada. Isso permitiria aumentar a capacidade de combustível do LM e, conseqüentemente, a carga útil que desceria com o LM. Assim, o indispensável aos astronautas — oxigênio, água, comida, daria para vários dias. Mais aparelhos científicos poderiam ser levados para valorizar êsses dias extras.

A outra concepção visualiza duas descidas conjugadas por um Módulo Lunar Abrigo (LM-Shelter) e um LM-Táxi. A operação seria realizada da seguinte maneira: dois veículos de lançamento Saturno V/Apolo são lançados do Cabo, talvez com semanas de separação. O primeiro leva um Comando Apolo normal é um Módulo de serviço com a tripulação usual de três homens. Entrando em órbita em tôrno da Lua, a tripulação envia ao nosso satélite um LM especial não tripulado — o LM-Shelter — destinado a um lugar de descida predeterminado, e volta à Terra.

Êsse LM-Shelter só de ida é um estágio de descida sem modificações e um estágio de subida cujo sistema de propulsão se removeu. Então êle poderá levar à superfície da Lua uma carga líquida igual ao pêso de um estágio ascensional de LM abastecido e tripulado, além da carga que um LM em viagem de ida e volta lá poderia deixar.

Umas poucas semanas depois, a segunda nave Apolo entra em órbita em tôrno da Lua. Dois dos seus três astronautas se transferem do Módulo de Comando para o LM-Táxi e descem à superfície lunar. A única diferença entre um LM-Táxi e um LM comum é que o primeiro pode permanecer por mais tempo na Lua, resistindo às suas condições anormais, sem perder a capacidade de voltar à órbita em tôrno da Lua.

Guiado por um farol de rádio do LM-Abrigo, o LM-Táxi pousa dentro de uma fração de quilômetro dêle. Então o LM-Abrigo torna-se a base lunar dos astronautas. Êles voltam ao Táxi para o retôrno à Terra.

Uma das principais vantagens da concepção Abrigo-Táxi é a de proporcionar lugar habitável para estada de umas poucas semanas. A remoção do sistema de propulsão do estágio ascensional deixa espaço suficiente para a colocação de rêdes, e os astronautas não precisam mais dormir na posição incômoda, quase de cócoras, obrigatória num LM normal. Êles poderiam sair de suas

vestes espaciais durante os períodos de descanso. A possibilidade de tais estadias foi demonstrada em 1966, em missão simulada à Lua, de duração comparável. Numa cabina do tamanho aproximado de três cabinas telefônicas, construída em Minneapolis para essa experiência, por Honeywell Inc., dois engenheiros do Centro de Vôo Espacial viveram e trabalharam com êxito durante dezoito dias, fazendo de vez em quando uma excursão espacial (com vestes espaciais). Os resultados do teste também se aplicam ao LM-Abrigo ou a um laboratório lunar.

Outra vantagem do LM-Abrigo só de ida com sua carga extra, é que êle poderá levar um "Jipe Lunar". Êsse veículo ampliaria o raio de ação dos astronautas, de um ou dois quilômetros, para dez ou vinte.

Desvantagem óbvia é que a concepção Abrigo-Táxi requer duas descidas felizes no mesmo lugar, ao passo que o LM-Aumentado proporciona ação científica completa, se bem que limitada, onde quer que desça. A escolha ainda está por fazer, dependendo das informações prestadas pelas fotografias obtidas com o Lunar Orbiter.

Mais tarde, haverá necessidade de artefatos de metal mais avançados, não incluídos no presente programa Apolo. Pór exemplo, se um Saturno V fôr empregado só para transportar carga, numa viagem só de ida a um determinado ponto da Lua, não haverá necessidade de Módulo de Serviço nem do Comando Apolo tripulados ou de um LM. Em vez disso, o vôo não tripulado poderia basear-se no modêlo de alunagem suave do Surveyor com um novo sistema de freios de elevada energia, a ser empregado na descida final. Com tal arranjo seria possível depositar na Lua, com tôda a suavidade, cargas de 12 ou 15 toneladas.

Essa possibilidade, inteiramente dentro do alcance de um foguete de lançamento Saturno/Apolo, poderia dar nova dimensão às nossas atividades na superfície lunar. Laboratórios móveis, capazes de excursões de várias centenas de quilômetros sôbre o solo acidentado da Lua, seriam uma realidade. E, dentro de uns poucos anos após a primeira descida, teríamos nossos campos permanentemente habitados da Lua, comparáveis aos campos de pesquisa na Antártida.

Como Viajaremos na Lua

Haverá varios tipos de veículos para viajar na Lua, de acôrdo com cada aplicação.

Mesmo antes de o primeiro astronauta pôr os pés na Lua, um pequeno veículo, inteiramente automático, poderá ter explorado a vizinhança imediata do ponto de descida da astronave que o terá levado à Lua.

Dirigido mediante contrôle remoto, por um operador da Terra que, refestelado numa poltrona, vê a paisagem lunar na televisão, como se a contemplasse através do pára-brisa, um veículo automático nessas condições poderia fornecer dados valiosíssimos sôbre a constituição do solo da Lua.

A primeira tentativa de descida com um veículo tripulado implicará tantas estréias que as tarefas exploratórias a serem executadas pelos astronautas serão dràsticamente limitadas simplesmente para assegurar um máximo de possibilidades de sucesso. Para explorar tôdas as possibilidades científicas abertas pela primeira e espetacular descida, os vôos subseqüentes precisarão de dois elementos de suporte: em primeiro lugar, abrigos lunares onde os astronautas possam sair de suas vestes espaciais e descansar; em segundo lugar, meio de transporte adequado ao solo da Lua. A parte visível da Lua estende-se sôbre uma área com o dôbro do tamanho dos Estados Unidos — e naturalmente o lado mais afastado é do mesmo tamanho.

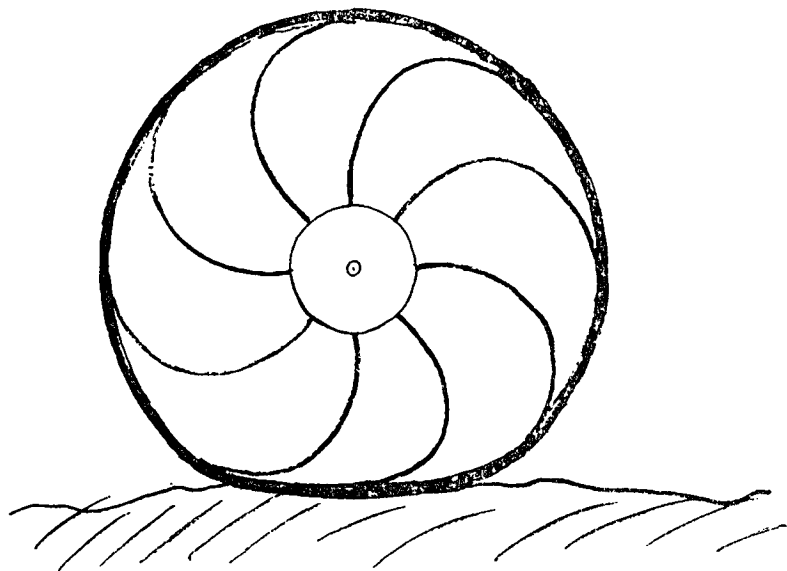
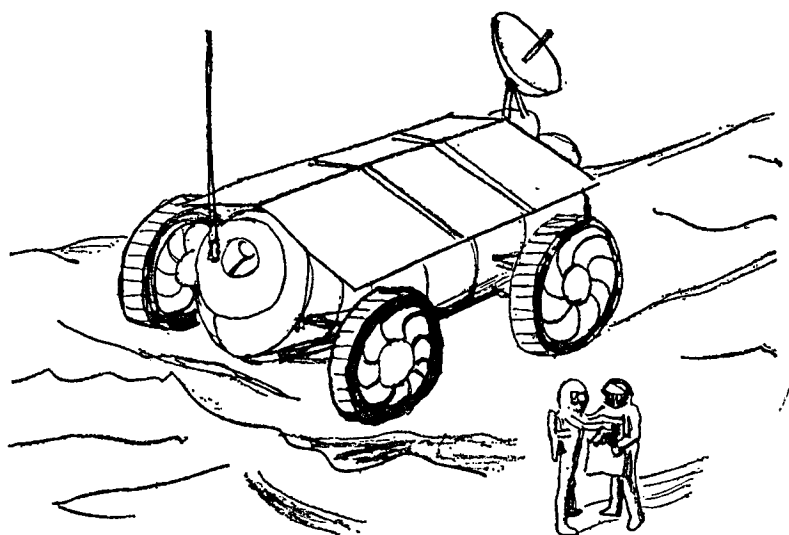
Para viagens curtas, um "jipe lunar" não pressurizado poderá servir. (Ver Capítulo 37: "O Que Faremos na Lua"). Os astronautas saltarão para sua plataforma aberta, protegidos por suas vestes espaciais e na dependência de suas mochilas para garantir a vida e as comunicações.

Em viagens mais longas será preciso um veículo pressurizado, com o confôrto do ar condicionado, que permita vestuário cômodo e possibilidade de o astronauta esticar-se durante os períodos de descanso. O veículo deve ter receptor e transmissor de rádio e suas acomodações deverão incluir a possibilidade de pesquisas durante o caminho.

Como não há superestradas na Lua (ainda), todos os veículos deverão ser capazes de suportar maus tratos. Como na Terra, algumas partes da Lua são razoàvelmente suaves e planas ao

passo que outras acidentadas e montanhosas. Seria fantasioso pretender que um veículo lunar pudesse enfrentar todos êsses tipos de superfície. Será melhor aproveitar o trabalho dos satélites que fotografam tôda a Lua e delinear rotas de acesso às altas bordas de crateras e outros objetivos de interêsse para as expedições superficiais. Parece suficiente a capacidade de vencer uma inclinação de 15 a 20 graus, mesmo para as missões mais ásperas.

A tração tipo tanque, em esteira, é bem melhor do que a de rodas mas requer mais potência. Isso, qualquer que seja a fonte empregada, significa maior pêso. E pêso é comodidade preciosa na Lua, onde cada grama deve vir da Terra, até que possamos produzir lá mesmo o nosso combustível, como sem dúvida faremos um dia.

Uma análise cuidadosa mostra que nas condições "extraterrenas" da Lua, onde um homem de 77 quilos pesa apenas treze, a roda parece levar decidida vantagem sôbre as sapatas sem fim. Concepção particularmente curiosa para veículos lunares é uma roda com raios elásticos (Ver o desenho seguinte) que combina as

vantagens de rodar suave e aumento da área de tração. Para tração extra em terreno frouxo, podem-se adaptar travessas às bordas

flexíveis das rodas (ou estendê-las com trinco de alavanca) como fazemos com as correntes para lama, nos pneus de automóveis.

Para evitar que as rodas afundem em terreno mole, seu diâmetro deve ser grande. Isso faz que, em comparação com padrões de Detroit, os carros humanos tenham aspecto algo estrambótico (ver o esbôço).

Como a lua não tem atmosfera, acham-se fora de cogitação os motores convencionais de combustão. As baterias solares, como as que fornecem energia aos instrumentos e rádios da maioria de nossos satélites não tripulados e sondas espaciais profundas, podem à primeira vista parecer fonte óbvia de energia barata na Lua sem nuvens. Acontece, porém, que elas precisam de cêrca de 25 metros quadrados de área para produzir um magro cavalo-vapor, razão pela qual seria preciso utilizar uma "vela" um tanto grande para captar energia.(*) Embora isso seja bom para uma estação geradora fixa, não é lá muito compatível com os solavancos de um veículo em terreno acidentado. Ocorre ainda que as baterias solares são ineficientes durante a noite lunar, que pode

(*) Vela, no sentido náutico (N.T.)

ser, especialmente durante período de radioso "brilho terrestre", ocasião muito atraente para viagem de superfície.

As fontes nucleares de energia para aplicação em veículo acarretam aborrecidos problemas de radiação e atualmente não parecem muito animadoras.

Entre as melhores opções parece colocar-se a célula de combustível de hidrogênio-oxigênio. (Ver Cap. 18). Lembra-se o leitor do velho experimento que se faz nos laboratórios de física para demonstrar a "eletrólise"? Envia-se uma corrente elétrica através de uma bandeja com água e observa-se que ela quebra ("dissocia") as moléculas de água, daí resultando o aparecimento de bôlhas de hidrogênio num elétrodo e de oxigênio no outro. Numa célula de combustível o processo é exatamente inverso: fornecem-se à célula hidrogênio e oxigênio, e êles se encarregam de produzir corrente elétrica. A eficiência do processo é de cêrca de 60 por cento, melhor do que a dos nossos melhores geradores de turbina. Por êsse motivo a indústria manifesta grande esperança no largo uso de células de combustível na produção comercial de eletricidade (outro exemplo de "subproduto" incalculàvelmente valioso de nosso programa espacial).

Energia a partir de células de combustível para veículos lunares parece muito atraente mesmo para as aplicações primeiras, quando o hidrogênio e o oxigênio tenham ainda de ser enviados da terra. Em época mais avançada da exploração da superfície lunar, uma vez instalado um reator nuclear na Lua, como Snap 8 ou o Snap 9 da NASA, poderemos fàcilmente produzir hidrogênio e oxigênio a partir da água servida de uma estação de pesquisas lunar, ou mesmo a partir da "água cristalina" que os geólogos acreditam possa extrair-se de minerais lunares.

Cada roda do veículo de superfície lunar seria acionada por um ou mais motores elétricos, movidos por meio de corrente obtida com célula de combustível. Mas como não existe atmosfera na Lua, torna-se impossível resfriar êsses motores a ar. Isso representa grave problema, especialmente para viagens durante o dia lunar, quando a temperatura chega a noventa e poucos graus. A melhor solução parece consistir no uso de isolantes de cerâmica, que permitam aos motores operar em temperaturas de 200 a 260 graus, ficando o resfriamento a cargo da irradiação térmica.

A lubrificação apresenta outro problema. Os lubrificantes líquidos, como óleo ou graxa, evaporam-se ràpidamente dos mancais expostos ao alto vácuo espacial. Os lubrificantes sêcos, como grafite ou sulfeto de molibdênio, são muito menos eficientes no vácuo do que na atmosfera, onde há sempre fina película de ar entre o eixo e o mancal. Mancais selados e pressurizados são possibilidade complexa e insegura. É preciso dizer que, embora tenhamos bastante experiência para construir mancais adequadamente lubrificados para veículos lunares de pequena duração, ainda há muito que aprender e progredir nesse campo.

O contrôle de temperatura não só quanto à tripulação mas também quanto aos instrumentos a bordo de um veículo na superfície lunar, adequado a longas excursões constitui outra dificuldade. Êsse veículo deverá estar habilitado a viajar dia e noite. Durante a noite lunar de quatorze dias não haverá problemas, pois, como num automóvel, é fácil desviar um pouco da energia para aquecimento e fazer eficente isolamento térmico. O resfriamento, sempre que necessário também, é facil porque o excesso de calor pode ser dispersado no verdadeiro "escoadouro" de calor da superfície lunar (—150 graus) e do universo marchetado de estrêlas que a circunda, mais frio ainda. Durante o dia lunar porém, a superfície da Lua é quase incandescente, muito mais quente do que a temperatura confortável de 23 graus que pretendemos manter dentro do veículo.

A melhor resposta parece ser um veículo com bom isolamento, pintado de branco ou prateado, para minizar o aquecimento por irradiação do calor da superfície da Lua, e equipado com um sistema de condicionamento que permita dispersar o excesso de energia para um exterior a mais de 100 graus. As quentes "superfícies de rejeição de calor" deverão ser localizadas sôbre a capota do veículo ou, possìvelmente (se fôr preciso descer a vales profundos brilhantemente iluminados pelo Sol), em discos parabólicos, que poderão ser orientados, como antena de radar, para uma região fria do céu.

VI

"MINAS DE OURO" NO CAMINHO DA LUA

O Projeto Apolo-Saturno Dará Lucro

Como nação, estamos firmemente empenhados, todo mundo sabe, no Projeto Apolo-Saturno – o plano de pôr um norte-americano na Lua antes do fim da década.

Menos conhecido é que uma descida coroada de êxito na Lua, nesta década, não é bem um fim em si própria, mas um alvo dos mais eficientes para desenvolver nos Estados Unidos uma capacidade de realização de vôos espaciais tripulados, que renderá de quatro maneiras principais:

> Benefícios diretos para tôda a humanidade.
> Vantagens para a segurança nacional.
> Conhecimentos fundamentais sôbre o universo e sua origem.
> Conhecimentos sôbre engenharia e métodos operacionais.

A pura e simples especificação de uma primeira descida na Lua, teve o condão de acelerar o passo de nosso programa de vôos espaciais tripulados e assegurar o apoio do público e do legislativo. Isso porque é óbvio que seria loucura gastar tanto na fabricação, instalação e experimentação das plataformas de lançamento se não estivéssemos preparados para explorar essas instalações e levar a

cabo o gigantesco programa Apolo-Saturn. Mas a descida na Lua nunca foi o único objetivo dêsse programa.

Quando Lindbergh atravessou sòzinho o Atlântico, em 1927, anunciou que a sua meta era Paris. Mas, se o seu alvo fôsse apenas chegar a Paris, êle poderia ir de navio. O verdadeiro propósito de seu vôo foi o de demonstrar, em têrmos que todos pudessem compreender, que já se podia viajar com segurança através do Atlântico. Todos sabem o que aconteceu com a aviação, depois disso.

Cremos que chegou a hora de podermos aventurar-nos com segurança para além das órbitas baixas percorridas por nossos astronautas. Pensamos que chegou a hora de pôr os pés em outros corpos celestes. A Lua tornou-se o nosso Paris cósmico.

O lucro — como no vôo pioneiro de Lindbergh — excederá de muito o simples alcance do objetivo imediato. Examinemos as quatro espécies de benefícios que citei.

Em primeiro lugar teremos auxílio direto para a realização das nossas aspirações terrenas.

Os satélites não tripulados já nos dão uma boa idéia disso. Os satélites Syncom e Early Bird possibilitam televisão global, e serviços de telefone e rádio. Os satélites Tiros e Nimbus, com o novo sistema operacional Tiros, logo se tornarão elementos vitais de uma rêde mundial de previsão de tempo. Os satélites Transit constituem ajuda inestimável aos navios, e é de prever que outros virão, mais refinados, para contrôle da navegação e do tráfego.

Os satélites tripulados, incluídas as estações espaciais orbitais, executarão cada vez mais dessas tarefas no futuro, e outras novas também.

O trabalho de colocar satélites tripulados em órbita será sobejamente pago pelas vantagens obtidas pelos sistemas de previsão de tempo e pela instalação, posteriores reparos e manutenção de estações intermediárias de comunicação.

O homem terá uma atividade ainda maior nos futuros postos orbitais de observação da Terra.

O registro da safra mundial, observada de uma órbita, poderia prever possível carência de determinado produto agrícola. As atuais tendências da explosão demográfica indicam que a Terra terá de seis a sete bilhões de bôcas a alimentar por volta do ano 2.000 — e o dôbro disso apenas 35 anos mais tarde. Os problemas resultan-

tes, da fome, de greves e da luta pela sobrevivência não são preocupações de um futuro distante, mas para os nossos próprios filhos e netos. Deveremos aprender a manejar melhor os recursos de nosso planêta e, antes de tudo, saber quanto alimento há e onde.

Já se demonstrou que a fotografia aérea especializada pode identificar claramente cada plantação. É possível diferenciar um campo de centeio de um de cevada ou aveia; uma fazenda que planta soja de outra que cultiva arroz ou trigo. Mais ainda, é possível perceber a diferença entre uma plantação viçosa e outra prejudicada por sêca, fungo ou ferrugem. Êsse método emprega uma série de filmes de diferente sensibilidade espectral e uma bateria de "sensores remotos", que visam simultâneamente o mesmo ponto da superfície da Terra com diferentes comprimentos de onda de luz visível ou infra-vermelha. Não há razão para duvidar de que a técnica usada pelos aeroplanos possa ser empregada com o mesmo sucesso na órbita.

A coleta de dados sôbre a safra de todo o globo precisará ser feita de modo contínuo. As plantas não mudam de aparência apenas com o crescimento; algumas áreas mais favorecidas pelo clima poderão proporcionar excelente colheita, ao passo que outras poderão sofrer, por sêcas ou enchentes. É preciso acompanhar o desenvolvimento de cada região para poder apresentar uma previsão realística sôbre a safra da estação. Se essa vigia contínua tivesse que ser feita com aviões, o gasto de combustível seria exorbitante. Fazê-la da órbita, ano após ano, é econômicamente sensato.

Essa vigilância global poderá também ser usada para outros fins. Será possível fazer prospecção sistemática de depósitos de minerais e petróleo. Na verdade, isso se transformará em necessidade se quisermos evitar que tôda a nossa civilização técnica seja forçada a uma interrupção abrupta. As industrias mundiais estão esgotando tôdas as reservas conhecidas em escala cada vez maior, pois tanto a população do globo como as suas exigências de melhores habitações, melhores carros e outras aplicações crescem em proporção alarmante.

Também os vulcões e outras áreas geològicamente instáveis da superfície da Terra podem ser vigiados na previsão de possíveis erupções ou terremotos. Os navios poderão ser dotados de sistemas

de alarma contra icebergs, e áreas florestais de escassa população serão avisadas sôbre incêndios. Observações de nevadas podem concorrer para melhor previsão e contrôle das reservas de água, usinas hidrelétricas e sistemas de irrigação.

A oceanografia também será beneficiada pela observação sistemática. Há grandes promessas na medição contínua de fenômenos como o estado do mar, movimentos do gêlo, temperatura da água, salinidade, (que pode ser determinada da órbita por polarimetria) e a coloração do oceano. Faixas verdes indicam elevado teor de plâncton e conseqüente possibilidade de manter maior número de peixes.

Como não temos planos de jamais colocar em órbita mísseis de bombardeio nuclear é improvável que os Apolo Saturno venham aumentar nossa potência de intimidação. Mas, assim como podemos observar safras, tormentas, neves e movimentos do gêlo no mar, é lógico que podemos ficar atentos às coisas de importância militar.

Sem dúvida, uma das maiores fontes de perigo do mundo de hoje é o sigilo da região comunista e sua aversão a qualquer espécie de acôrdo sôbre inspeção mútua, pois freqüentemente os estadistas ocidentais devem contentar-se com hipóteses e adivinhações em vez de fatos reais. Melhores informações sôbre os fatos ocorridos nessa porção murada do globo beneficiarão a segurança nacional do nosso e de outros países do mundo — fazendo dêste planêta um lugar mais seguro nesta era nuclear.

Provàvelmente, a verdade mais importante apreendida pelo homem nestes 10.000 anos de sua história consciente é que a satisfação de sua curiosidade sempre redundou em proveito. A substância do que chamamos de civilização — a casa em que vivemos, as roupas que vestimos, as idéias que seguimos, o trabalho que fazemos, o carro que dirigimos, os livros que lemos — tudo partiu da curiosidade que alguém, numa época qualquer manifestou acêrca de algo. A observação do universo de um ponto vantajoso do espaço exterior, livre de atmosfera que empane a imagem das estrêlas e lhe absorva a maior parte da radiação, é um dos melhores investimentos que o homem pode fazer, visando a aumentar enormemente a sua compreensão da natureza. Lá em cima é que poderemos encontrar a resposta definitiva sôbre o que faz o universo funcionar.

Pôr um homem na Lua e trazê-lo de volta, vivo, não só requer uma infinidade de talentos científicos e técnicos mas também uma refinada abordagem do que se chama de análise de sistemas. É a arte de prever o que uma variação de funcionamento, ou um defeito, numa parte ou região acarretará a outras partes, outras área e todo o sistema. Uma análise de sistemas cuidadosa permite encontrar a melhor solução geral de um problema complexo que envolva elementos diferentes.

Também foi preciso estudar novos métodos administrativos. Êles habilitam os administradores do Apolo-Saturno a rápida ação de correção quando algo errado aparece no complexo mecanismo de um esfôrço que envolve centenas de milhares de pessoas, milhares de companhias e centenas de milhões de dólares, pondo todo o programa, ìntimamente entrelaçado, em perigo de descompasso. Muitas dessas novas técnicas de administração podem ser adotadas com vantagem em campos não relacionados com o espaço, como o trânsito interurbano a alta velocidade e causas e remédios para a poluição da água. Podem mesmo ser adaptados aos problemas de relações humanas, como a inquietação racial e a delinqüência juvenil.

Assim, chispando para a Lua, estamos abrindo novas sendas cuja exploração oferece ricas promessas.

Precisamos Saber Mais Acêrca do Sol

O Sol é, pràticamente, a mola-mestra da vida na Terra. É êle que fornece o calor necessário para manter a vida. Sem a sua luz não haveria a fotossíntese, processo básico de crescimento das plantas. E sem a vida vegetal não haveria vida animal ou humana.

Para muitos cientistas o Sol tem outra significação: é a mais próxima dentre bilhões de estrêlas fixas e, portanto, a mais adequada a estudo mais preciso. Pela observação do Sol muito poderemos aprender acêrca dos fenômenos físicos em todo o universo.

Há muitas espécies de estrêlas fixas. O Sol (um tipo muito comum, classe G) não pode responder a tôdas as nossas perguntas, porém muito já nos contou acêrca do ciclo berço-à-cova que parece ser o destino de tôdas as estrêlas.

Com o nosso primeiro Observatório Solar Orbital, lançado com todo sucesso, e outros mais elaborados em preparo não estaremos

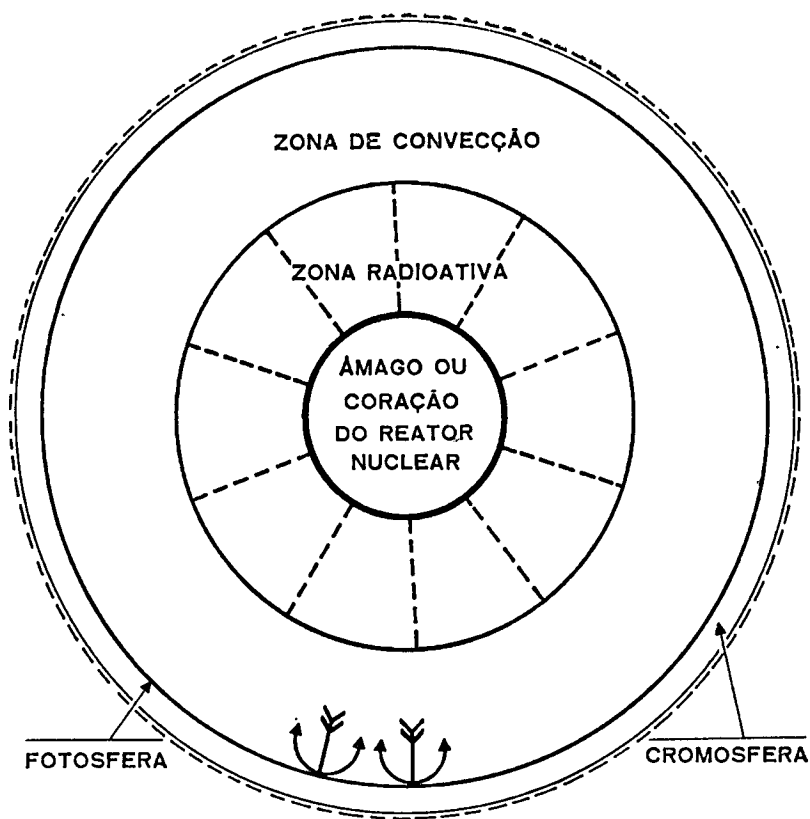
mais embaraçados pela "suja janela de porão" de nossa atmosfera e poderemos ampliar enormemente nossos conhecimentos sôbre o Sol.

Temos provas diretas de que é impossível que a superfície visível do Sol seja sólida: êle gira sôbre seu eixo em 4 semanas aproximadamente; mas, enquanto o Equador leva 25 dias, as regiões polares levam 31. Na verdade, se a temperatura solar é de 6.000 graus, torna-se óbvio que êle deve estar pelo menos envolvido numa camada de gás incandescente.

Embora isso não exclua a possibilidade de o interior invisível ser líquido ou sólido, há outra prova cabal em contrário — a enorme quantidade de energia que o Sol irradia continuamente. A sua proporção, calculável, é de tal ordem que a superfície gasosa do Sol já se teria resfriado perceptivelmente nos últimos séculos se sua temperatura não fôsse mantida por um interior ainda mais quente. Assim, a temperatura do Sol deve aumentar em direção ao centro.

Isso significa, naturalmente, que o Sol deve ser uma esfera inteiramente gasosa, ainda mesmo que sua porção central contenha elementos mais leves que o hidrogênio, que predomina na superfície. Deve ainda haver um mecanismo que compense essas perdas de energia.

Hoje se acredita que a região mais interior do Sol (até cêrca de vinte e três por cento do raio solar) seja um imenso reator nuclear, onde o hidrogênio é transformado em hélio.

A temperatura, no centro da zona de reação nuclear, é avaliada em 20.000.000 de graus. Sua pressão é, no entanto, tão elevada, em razão do enorme campo gravitacional do Sol, que o hidrogênio gasoso, que constitui o grosso da massa solar, pesa cêrca de oitenta vezes mais do que a água. Nessas condições os átomos são completamente ionizados ou despidos de seus eléctrons. Êles são também estreitamente unidos. Em particular os leves prótons (núcleo ionizado do átomo de hidrogênio) giram com tremenda velocidade e colidem tal violência e freqüência que pode haver "fusão termonuclear" dêles com átomos mais pesados. Essa fusão é acompanhada por libertação de energia que, irradiada para fora, aquece o gás circundante. O produto final dêsse processo, durante o qual o hidrogênio se consome, é o hélio.

SECÇÃO RETA DO SOL

Êsse "consumo de hidrogênio" é processo bem complexo. Como descobriu o dr. Hans Bethe, da Universidade de Cornell, nêle estão envolvidos átomos de carbono, nitrogênio e oxigênio. Mas êsse atomos atuam apenas como intermediários ou catalisadores e são completamente regenerados no fim da "reação em cadeia circular, de Bethe". O resultado final é consumo de hidrogênio, liberação de energia e produção de hélio. A reação de Bethe está sendo processada há várias centenas de milhões de anos. Durante todo êsse tempo o processo permitiu que a superfície do Sol emitisse cêrca de 4. 10^{23} quilowatts, (isso é, um quatro seguido de 23 zeros) para o espaço que o envolve, sem ficar mais frio.

Durante todo o período geológico, entretanto, o Sol perdeu apenas um por cento de todo o seu conteúdo de hidrogênio.

Dentro do núcleo do Sol e da área à sua volta a energia é irradiada para fora, como raios X e gama. A transferência de calor por *irradiação* domina tanto nesta região, onde a temperatura vai além de 550.000 graus, que é desprezível a parte de convecção.

A cêrca de setenta por cento da distância do centro à superfície a temperatura cai para perto de 140.000 graus e a densidade do gás para menos de 1/10 da densidade da água. Nessas condições, a irradiação não pode manter o fluxo de energia para o exterior, começando a convecção a predominar. A energia é transportada pelo impulso de flutuação do material aquecido, num elevado gradiente de temperatura, mais ou menos como uma nuvem do tipo cúmulo a irromper na atmosfera superior, mais fria. O material aquecido que já alcançou a superfície e se resfriou pela irradiação de sua energia, desce de volta à zona de irradiação pelos espaços deixados entre as tôrres ondulantes dos cúmulos.

O tôpo dessa zona de convecção é a fonte de tôda a luz visível do Sol. Fotografias solares ampliadas mostram claramente a estrutura granulada das formações semelhantes a cúmulos, em elevação. Os astrofísicos chamam essa região de *fotosfera*. Sua temperatura é de cêrca de 5.000 graus.

Imediatamente acima fica a *cromosfera*, turbulenta camada de gases de cêrca de 10.000 quilômetros de altura, e densidade de menos de 1/1.000 da fotosfera. É uma ardente massa de fontes gasosas aquecidas a cêrca de 6.000 graus. Já foi chamada de "vaporizador" da fotosfera, porque é mantida em movimento contínuo pela pulsante fotosfera que lhe fica por baixo.

Impulsos bruscos e constantes das velozes tôrres de cúmulos enviam, do centro para fora, ondas de choques supersônicas que atravessam a cromosfera. Essas ondas, que se dissipam na cromosfera, explicam a elevação da temperatura desta. Se pudéssemos levar à cromosfera um microfone resistente ao calor, iríamos ouvir sem dúvida uma trovoada contínua. A despeito da alta temperatura, a cromosfera emite muito menos radiação do que a fotosfera, em razão de sua menor densidade gasosa.

A coroa é imensa camada de gás rarefeito, circundando o Sol e estendendo-se a um ou dois diâmetros solares, com labarêdas que muitas vêzes atingem enorme extensão. Elas são visíveis durante

os eclipses totais, quando a Lua cobre inteiramente o Sol. A forma da corôa varia muito, de acôrdo com o número de manchas solares que apresenta.

A corôa tem apenas 1/1.000 da densidade da cromosfera, mas a sua temperatura é da ordem de 1.000.000 de graus. Exatamente como a fotosfera aquece a cromosfera, arremessando os seus grânulos, a cromosfera aquece a coroa com explosões de gás supersônicas. A temperatura mais elevada da corôa é também devida à energia de dissipação das ondas de choque.

Admite-se hoje que se forma a mancha solar sempre que um forte campo magnético local encarcera um ou mais dêsses cúmulos granulados em elevação, na zona de convecção do Sol.

Uma vez interrompido o movimento de convecção, pára também o transporte de calor local. A área afetada arrefece pela irradiação e torna-se uma escura mancha solar.

Como sabemos isso? A prova mais direta é provàvelmente dada pelo efeito Zeeman no espectro da área em tôrno da mancha solar. Há setenta anos o físico Zeeman descobriu que cada uma das linhas espectrais da luz que emana de um gás luminoso (um tubo de neônio, por exemplo) divide-se em duas tão logo o gás seja colocado num campo magnético. As linhas espectrais da luz na vizinhança da mancha solar fazem exatamente isso. Já se mediram campos magnéticos de 3.000 gauss em volta de grandes manchas solares, o que é considerável quando os comparamos com o campo magnético da Terra, que gira as agulhas de nossas bússolas e cuja fôrça é de apenas uma fração de gauss.

Os gases "cúmulos", pulsando em velocidades supersônicas através da zona de convecção do Sol, são ainda tão quentes que permanecem altamente ionizados, ou seja, seus átomos são despojados de quase todos os seus elétrons. São êles assim, muito bons condutores de eletricidade. Quando o campo magnético circundante induz uma corrente na coluna de gás em elevação, esta é imobilizada, exatamente como um disco de cobre rodando em campo magnético.

Acêrca de Cometas e Meteoros

Cometa é um corpo relativamente pequeno que se move em órbita fchada em tôrno do Sol. A forma excêntrica da órbita e,

naturalmente, a sua cauda, colocam os cometas numa categoria à parte em relação aos planêtas e aos asteróides.

Cometas de brilho tão intenso que podem ofuscar tudo menos o Sol e a Lua podem aparecer uma ou duas vêzes em cada século. Outros, mais obscuros, mas visíveis a ôlho nu, ocorrem com intervalos de poucos anos. Há sempre no céu alguns cometas que podem ser vistos e fotografados com poderosos telescópios.

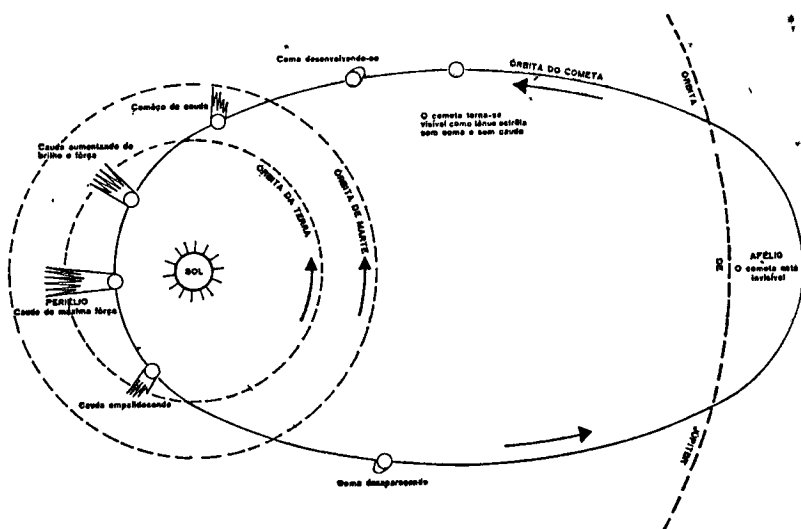
Um cometa tem três partes visíveis. A cabeça, chamada coma, forma brilhante nuvem difusa. Dentro dela há um núcleo sólido, como estrêla, de um a cem quilômetros de diâmetros. A cauda, a parte mais visível de um cometa, parece um jato de gás, sempre apontando para o lado oposto ao Sol.

Perto do afélio (o ponto mais afastado do Sol, na órbita muito excêntrica de um cometa) o núcleo é obscuro; quase não há coma e nunca se vê a cauda. Só quando o cometa começa a aproximar-se do Sol é que as coisas começam a acontecer. (Ver o diagrama).

Primeiro o núcleo sólido se envolve de uma coma nebulosa. Depois aparece a cauda. O cometa torna-se maior e o máximo de seu brilho é perto do periélio, o ponto mais próximo do Sol. Infelizmente, êle não pode ser visto muito bem da Terra porque o céu brilhante da aurora ou do crepúsculo interfere na observação de objeto tão próximo do Sol. Os telescópios orbitais oferecem promissora resposta.

Estudos fotográficos e espectrográficos levaram o prof. Fred L. Whipple, diretor do Smithsonian Observatory, a propor um "modêlo" de cometa, que foi quase universalmente aceito e que explica quase todos os fenômenos observados em relação a êles.

O núcleo, do qual surgem a coma e a cauda, sugere o prof. Fred, consiste em espuma de rocha porosa, impregnada de água gelada, amônia, metano e bióxido de carbono. Do lado da órbita, oposto ao Sol, essa conglomeração é fria e dormente. Quando o cometa se aproxima do Sol, o calor dêste começa a vaporizar os gases gelados. Parte dêsse vapor forma a coma nebulosa; o resto forma a cauda, que é afastada do cometa por alguma fôrça de repulsão centralizada no Sol. Uma dessas fôrças poderia ser a pressão da luz, exercida sôbre a matéria pelo impacto dos fótons. Mas essa tênue fôrça não poderia explicar tudo o que observamos:

1. As estrias retas, incrìvelmente longas, das caudas de alguns

cometas que sòmente poderiam ser causadas por fôrças muito maiores do que a pressão da luz. 2. Algumas caudas são curvas ou têm partes curvas e retas. 3. Todos os cometas têm caudas bidimensionais, confinadas ao plano da órbita do cometa. Isso torna-se muito aparente quando a Terra atravessa êsse plano, momento em que a cauda desaparece repentinamente. É como se uma figura plana dela fôsse virada contra nossa vista, perpendicularmente.

Êsses enigmas de análise espectral nos dão uma pista: Os gases extremamente tênues da cauda de um cometa são quase inteiramente ionizados ou elètricamente carregados. Isso torna-os susceptíveis de atração ou repulsão pelos campos magnéticos ou eletrostáticos.

Acontece que durante as erupções solares, muito freqüentes, o Sol emite grandes fluxos de elétrons e prótons. Atravessando o espaço, essas partículas eletrostàticamente carregadas levam consigo grandes campos magnéticos, nos quais os cometas podem entrar. Assim, a forma variada das caudas dos cometas pode resultar, não só da pressão da luz solar como também das fôrças magnéticas e eletrostáticas que atuam sôbre os gases ionizados que constituem as caudas dos cometas.

Como um cometa perde matéria, a duração provável de sua vida depende primàriamente da rapidez com que êle perde massa por evaporação, o que, por sua vez, depende de quanto êle se aproxima do Sol durante as passagens pelo periélio. Assim, sua vida é determinada por sua órbita.

Os astrônomos dividem os cometas em dois grupos, um de curtos períodos, levando menos de duzentos anos para completar a sua órbita, e outro de longos períodos, de mais de duzentos anos. Cometas de período curto parecem preferir órbitas dentro ou perto da eclítica, o plano no qual a terra circunda o Sol. Os planos dos cometas de períodos longos varia ao acaso sendo desconhecida a duração de sua vida, pois a ciência de observação sistemática de cometas não tem ainda duzentos anos de idade.

Júpiter, o maior planeta de nosso sistema solar, tem grande influência sôbre as órbitas dos cometas. Sempre que um planeta passa por Júpiter, a poderosa atração gravitacional dêste faz que o cometa se desvie de sua órbita. Algumas vêzes isso aumenta o afélio (distância orbital máxima do Sol) e pode mesmo resultar em trajetória de fuga, tirando o cometa do sistema solar. Mas o efeito mais provável parece ser uma diminuição da distância afélica do cometa, pois em cêrca da metade dos cometas de período curto o afélio é perto da órbita de Júpiter. O período orbital de cometas como êsse é de menos de dez anos.

Do mesmo modo que Júpiter pode alterar a distância afélica de um cometa, pode também reduzir a distância periélica — chegando a fazê-lo precipitar-se no Sol e ser consumido para sempre.

Mesmo que o cometa apenas roce o Sol, o aquecimento poderá ser tão grande que todos os gases gelados sejam completamente evaporados e assoprados numa gigantesca cauda. Boa parte do núcleo sólido do cometa pode também vaporizar-se.

A passagem à distância um pouco maior poderá ainda resultar em fôrças de marés solares capazes de despedaçar o cometa. Então fragmentos do núcleo sólido entrarão na parte mais externa da órbita original a velocidades ligeiramente diversas, que causarão pequenas diferenças em seus períodos orbitais. Assim, após várias revoluções, o material do núcleo original fica espalhado por tôda a órbita. Quando a terra cruza a órbita de um cometa assim desfeito, testemunhamos uma chuva de meteoros.

Meteoróide é um bloco de matéria que viaja através do espaço exterior. Seu tamanho pode variar de uma partícula de poeira a um bloco de várias toneladas.

Meteoro é um meteoróide que entra na atmosfera terrestre. Aquecido pelo atrito do ar, êle causa a esteira de luz que vemos como estrêla cadente. Os meteoros muito brilhantes são freqüentemente chamados de bola de fogo.

Meteorito é a parte não consumida de um meteoro que chega ao solo.

É bom todavia o leitor não ficar muito surprêso se êsses termos forem empregados com o sentido trocado.

A velocidade com que um meteoróide pode entrar na atmosfera, passando a meteoro, varia de cêrca de doze a oitenta quilômetros por segundo. O limite mínimo é estabelecido pela velocidade de queda de um corpo que cai de distância infinita, atraído pela fôrça gravitacional da Terra; o limite máximo, pela velocidade combinada da gravidade solar e da velocidade da Terra em sua órbita.

Os meteoritos encontrados na Terra distinguem-se em tipos: dos tipos "pedra", "ferro" e "intermediário". A abundância relativa dêsses três tipos, na Terra, não prova necessàriamente, porém, que a mesma proporção se aplica aos meteoróides pré-atmosféricos. Na verdade, há provas de que grande parte dos meteoróides se desfazem na atmosfera a pressões dinâmicas relativamente baixas, mostrando sua extrema fragilidade. Porções ponderáveis dêsses meteoróides tão frágeis têm muito menos probabilidades de chegar ao solo do que pedaços maciços de pedra ou ferro.

Êsse fato tem interêsse particular em relação aos chuveiros de meteoros que, como vimos, ocorrem sempre que a Terra cruza a órbita de um cometa que se desintegrou lentamente sob os efeitos do calor e das marés solares. De acôrdo com o "modêlo" de Whipple, tudo o que resta do seu núcleo sólido é um material altamente poroso e, é de supor, frágil. Assim, podemos concluir que poucos, se é que há algum, dos meteoritos que encontramos na Terra provêm de cometas.

Navios e Aeroplanos Navegados por Satélites

Desde julho de 1964 a Marinha dos E.U.A. vem realizando intensas experiências sôbre um sistema de navegação para navios que empregam três satélites especialmente destinados a êsse fim. Êsses satélites Transit foram colocados em órbitas quase circulares a cem quilômetros de altitude pelo foguete Thor-Able Star, com teste de tempo, lançado da Vanderberg Air Force Base na costa oeste. Os testes parecem ter sido extremamente bem sucedidos, pois a Marinha declarou que todo o sistema está pronto para ser operado.

Como podem os satélites ajudar a navegação de navios? A idéia básica é simples.

Coloca-se em órbita um pequeno satélite equipado com receptor, transmissor e dispositivo de armazenamento de sinais. Seus dados orbitais, determinados por estações de rastreamento no solo, são retransmitidos ao satélite em forma apropriada e em código. O satélite guarda essas informações de um modo muito parecido com o de um gravador de fita, por meio de memória magnética. Se acontecer alguma variação na posição do satélite, essas informações deverão ser substituídas por outras mais precisas. Assim o satélite, sempre que interrogado do solo acêrca do seu caminho orbital, está pronto a dar informações atualizadas. Esta é a primeira parte da história.

A outra metade refere-se à determinação da posição *relativa* entre o satélite e um navio que procura saber a própria posição *absoluta,* sôbre o globo.

A posição relativa é encontrada pela medição do modêlo do chamado desvio Doppler do transmissor de freqüência do satélite. Desvio Doppler de Rádio é o desvio eletrônico correspondente ao familiar fenômeno de baixa de tom do apito de uma locomotiva após a sua passagem. Enquanto o trem se aproxima, as ondas de som atingem nosso ouvido com freqüência maior do que aquela com que saem do apito. Quanto o trem se afasta, ouvimos o apito em freqüência mais baixa do que a original.

No caso do satélite Transit, o padrão no desvio Doppler, de mais para menos, mostra claramente a característica da passagem do satélite em relação ao navio. Se a mudança de freqüência alta para baixa fôr abrupta, o satélite estará bem alto no céu. Se a

variação fôr mais gradual, o satélite estará mais baixo, acima do horizonte. O efeito Doppler é maior numa passagem de frente do que numa passagem inclinada.

Um agrimensor encontra sua posição absoluta, na Terra, medindo sua posição relativa entre vários pontos cuja posição absoluta conhece. O satélite navegacional é apenas um marco cuja posição absoluta é conhecida. Mas, como êle se move com precisão astronômica ao longo de uma órbita predeterminada, precisamente controlada, os marcos absolutos que êle pode fornecer são muitos e em diferentes tempos a cada passagem.

Com os dados sôbre o desvio Doppler, que fornecem simultâneamente as posições relativas entre o navio e o satélite, é fácil determinar a posição absoluta, precisa, do navio. A Marinha diz que uma orientação de navegação tomada pelo sistema do satélite Transit tem a precisão de um décimo de quilômetro. (A navegação celeste tem em geral uma precisão de meio quilômetro).

O aparelhamento de bordo adotado nos navios para os testes operacionais Transit funciona automàticamente. Ativado automàticamente pela própria aproximação do satélite, recolhe tanto os dados sôbre o efeito Doppler como os últimos dados orbitais sôbre a posição do satélite, calcula a posição e até mesmo dactilografa o resultado em latitude e longitude para o navegador.

Estimativa da Marinha calcula que o custo básico de produção de um equipamento completo para navio ficaria em cêrca de doze mil dólares. Assim, o auxílio à navegação prestado pelos satélites Transit estaria inteiramente ao alcance da navegação comercial. Uma vez que o sistema, segundo as palavras de um representante autorizado, oferece a possibilidade de determinar a posição do navio de um modo "preciso, seguro, universal e para qualquer tempo durante as vinte e quatro horas do dia", não há duvida de que os Transit terão uma porção de fregueses.

Um dos maiores interessados é, naturalmente, a frota de submarinos Polaris, porque a eficiência dêsses barcos lançadores de foguetes depende de informações precisas sôbre posição, obtidas com qualquer espécie de tempo e sem denunciar sua localização pela emissão de sinais de rádio.

O sistema Transit também parece apropriado ao uso por aviões. São óbvias as vantagens potenciais para aeroplanos militares ou

comerciais voando sôbre oceanos ou grandes extensões de terra, sem auxílio de estações terrestres de radionavegação.

Os satélites de navegação pesam cêrca de 70 quilos e assim não precisam de foguetes muito possantes. Para que tenham eficiência em todo globo, devem ser colocados em órbitas polares ou quase polares, de modo que, girando, a Terra exponha tôda a sua superfície ao satélite. Uma série dêles, convenientemente distribuída, cobrirá as vinte e quatro horas.

Os satélites Transit apresentam características especiais que vale a pena mencionar: têm "estabilização de gradiente de gravidade", o que significa que êles utilizam o fenômeno que consiste em um objeto em forma de haltere, quando pôsto em órbita terrestre, tende a alinhar-se na direção da fôrça gravitacional da Terra. Os transmissores dos Transit são equipados com osciladores que estabilizam as freqüências transmitidas com precisão de um por dez bilhões, permitindo medir o efeito Doppler com segurança.

O equipamento eletrônico de dois dos três satélites Transit possui uma rêde de 18.000 células solares. O terceiro emprega uma fonte de energia nuclear. O SNAP-9A – bateria atômica na qual o calor proveniente do Plutônio 238 é convertido por pares térmicos em cêrca de 20 watts de eletricidade. A duração de ambas as formas de fontes, a solar e a nuclear, excede de muito os dois anos de garantia, no uso dos satélites Transit.

VI

AOS PLANETAS- E ALÉM

Os Enigmas de Marte

Quando o planeta Marte estêve em posição particularmente favorável para observação, em 1877, o astrônomo italiano Giovanni Schiaparelli anunciou a descoberta de uma rêde de linhas muito finas e perfeitamente retas que pareciam recortar a superfície do planeta como teia de aranha. Na falta de melhor palavra, chamou a essas linhas "canali".

O relatório de Schiaparelli, apresentado sem alarde, causou sensação e fêz do Planeta Vermelho o objeto de grande interêsse e especulação popular.

Outros astrônomos procuraram verificar (ou refutar) as observações de Schiaparelli, logo aparecendo uma porção de comentários na literatura profissional.

> A maioria dos canais, relatavam os observadores, segue os grandes círculos da esfera do planeta.
>
> Observados a princípio apenas nas regiões brilhantes (desérticas) de Marte, verificou-se também que êles cruzavam áreas escuras.
>
> Nas áreas cobertas de "neve" durante tôda a noite (hoje acredita-se que seja geada) ainda era possível discernir cla-

ramente um canal, embora sua largura estivesse grandemente reduzida.

Todos os canais começam e terminam em regiões ou manchas escuras chamadas "oásis". Nenhum jamais foi visto desaparecer numa região brilhante ou "desértica".

A visibilidade dos canais estava claramente ligada às estações de Marte. Com a recessão da alva calota polar do norte, durante a primavera marciana, os canais do hemisfério setentrional aumentavam de nitidez e contraste. Meio ano marciano mais tarde, o mesmo fenômeno ocorria no hemisfério do sul.

Durante períodos de visibilidade marcante, dada a estação, um canal de repente parecia duplo. Onde, na noite anterior, havia uma única linha em grande círculo, havia agora duas, paralelas.

Essas observações causaram grande alvorôço e levaram à inevitável especulação de que os canais de Marte poderiam ser o trabalho de sêres muito inteligentes. O porta-bandeira dessa proposição foi o astrônomo norte-americano Percival Lowell, um dos observadores planetários de maior projeção em todos os tempos. Marte era um planêta árido, argumentava êle — bem mais de metade de sua superfície era um deserto. O seu principal suprimento de água provinha das calotas, supostamente cobertas de neve, quando estas se derretiam, durante a primavera, ao norte e ao sul.

Que poderia ser mais lógico, argumentava Lowell, do que o desenvolvimneto, pelos marcianos, de um sistema de canais para levar a água das calotas polares em fusão às latitudes mais quentes, onde as safras de alimentos só poderiam crescer se o solo fôsse irrigado? Para Lowell e sua escola, o que se via, num canal, não era o próprio fôsso conduzindo água — seria preciso que êle tivesse centenas de quilômetros de largura para ser visto com os telescópios da época — mas as faixas de vegetação ao longo de ambos os lado, como as verdes margens do Nilo ou do Rio Grande. A curiosa idéia de Lowell encontrou adeptos em todo o mundo.

Contudo, com o advento dos telescópios mais avançados, essa idéia ruiu. Usando instrumentos mais poderosos, os observadores puderam ver claramente detalhes muito mais finos, que antes

haviam iludido os telescópios menores de Schiaparelli e Lowell. Agora o canal, em vez de parecer linha fina e direita, mostrava uma sucessão de detalhes irregulares.

Além disso, nossos conhecimentos atuais sôbre a pressão atmosférica e as temperaturas da superfície de Marte excluem a possibilidade de existência de água, ali.

Sabemos agora, com alto grau de certeza, que a pequena quantidade de água existente em Marte sobe atmosfera acima como cristais de gêlo. Os ventos depositam êsse gêlo, como geada, nas regiões polares durante os meses de inverno dos respectivos hemisférios. No fim do inverno, a camada de geada que forma a calota polar tem espessura calculada em um ou dois centímetros, apenas.

As mais recentes observações confirmam, entretanto, inteiramente a existência de direções predominantes ao longo das quais estão orientadas essas "atividades". Considera-se agora o eixo ao longo do qual se apinha grande número de detalhes.

Também se verificaram plenamente variações do contraste com que se podem ver êsses detalhes, com as estações.

Além disso, após muitas décadas de observações de Marte, cuidadosamente catalogadas, tornou-se evidente que certas áreas onde antes se haviam assinalado manchas e linhas de muito contraste apresentam hoje traços muito tênues. Inversamente, áreas tênues têm hoje linhas e manchas bem marcadas. E algumas áreas, como a região de Nepenthes-Thoth, mostram fases alternadas de grande intensidade e esmaecimento.

Em resumo, a única afirmação que podemos fazer é que os canais de Marte continuam a ser enigma. Ao contrário da Lua, que é mundo morto, a superfície de Marte mostra variações sazanais e também a prazo mais longo.

Os astrônomos sentem extrema relutância em responder com um simples "sim" ou "não" à pergunta sôbre a existência de vida em Marte. As provas existentes são na verdade ainda muito fracas. No passado, os pesquisadores muitas vêzes se deixavam levar pelo entusiasmo e fortes convicções. Hoje, nesta era de foguetes planetários, êles estão penosamente cônscios de que não mais podem fazer declarações que poderão ser refutadas amanhã por novas e esmagadoras provas.

A questão da vida em Marte centraliza-se em tôrno das áreas escuras do planêta, cujos contornos variam com as estações. Há três hipóteses para explicar essas variações. Duas são "não vegetais", ao passo que a terceira atribui as variações a algum tipo desconhecido de vegetação.

Consideremos em primeiro lugar a chamada hipótese *vulcânica.* Ela afirma que vulcões convenientemente localizados produzem vastas quantidades de cinzas e escórias, mais ou menos continuamente. Estas são levadas pelos ventos que prevalecem na estação, e depositadas segundo determinados padrões, que se repetem. A questão é que essa teoria requer vulcões diferentes de qualquer um dos que conhecemos na Terra, onde nenhum tem erupção contínua. Além disso, os estudos espectrográficos da atmosfera marciana não indicam a existência de grandes quantidades de pó permanentemente suspenso.

A hipótese da *coloração mineral,* a segunda não vegetal supõe variação sazonal da côr de certos minerais que constituiriam as áreas escuras. Conhecemos muitas substâncias "higroscópicas" (absorvedoras de água) que mudam de côr segundo a quantidade absorvida. Diz a teoria que os ventos dominantes em cada estação transportam a escassa quantidade de água em ciclos, entre os hemisférios norte e sul, e a variação da umidade da atmosfera altera a coloração do material que cobre a superfície das áreas escuras.

Essa hipótese tem vários pontos suscetíveis de discussão. Em Marte a água não chove e embebe a superfície, mas é depositada como cristais de gêlo, ou geada. E não se conhecem minerais que mudem perceptìvelmente de coloração com as diminutas quantidades de água em causa, mesmo na improvável suposição de que a geada se derretesse, embebendo o material de baixo. Finalmente, essa hipótese não pode explicar o extraordinário fenômeno da regeneração das áreas escuras.

Tempestades de poeira muitas vêzes depositam, em áreas escuras, camadas do material amarelento que predomina nas áreas brilhantes adjacentes. Mas, em poucas semanas, a área escura retoma invariàvelmente seus antigos contornos.

Sem algum poder regenerativo (como um processo vegetativo) é provável que qualquer área escura ficasse enterrada a quilômetros de profundidade sob o pó amarelo, após milhões de anos de tempestades de poeira.

Finalmente há a *hipótese vegetativa* – a que supõe existência de vida em Marte. As áreas escuras, sugere ela, são cobertas por alguma forma de vegetação que desbota no outono. Na primavera, quando a temperatura se eleva, ela brota de novo, ajudada pela umidade que os ventos trazem das calotas polares em fusão.

O ponto mais fraco da hipótese vegetativa é o clima inóspito de Marte. O astrônomo francês, Gerard de Vaucouleurs, provàvelmente o maior dos especialistas sôbre Marte, uma vez o descreveu da seguinte maneira: "Tomemos um deserto da terra, transportêmo-lo às regiões polares e elevêmo-lo ao nível estratosférico – assim é que é em Marte". Parece também haver pouco ou nenhum oxigênio (não mais de 0,15 por cento, na melhor estimativa), na atmosfera de Marte, constituída quase exclusivamente de hidrogênio.

Poderá existir vida, como a conhecemos, sob tais condições?

Muitos biologistas acreditam que certas formas de vida terrenas como liquens, algas microscópicas e bactérias conseguiriam sobreviver, se transplantadas para Marte.

Deveria, porém, a vida em Marte limitar-se a essas formas? Consideremos a enorme variedade de formas de vida na Terra – na água, na terra sêca e no ar. Pode muito bem ser que durante os milhões de anos de evolução a vida em Marte tenha desenvolvido suas próprias formas, dràsticamente diferentes. Portanto, o termo *vida como nós a conhecemos* pode em verdade ser muito restritivo para a resposta que procuramos.

Precisamos ainda ter em mente que todos os dados que possuímos a respeito de Marte são a média das condições de grandes regiões. É inteiramente possível que existam pequenas áreas em condições completamente diferentes da média.

Pode Marte, por exemplo ter um interior muito quente, em conseqüência da desintegração radioativa de certos materiais do seu núcleo. Há também a razoável possibilidade de haver camadas de água permanentemente geladas cobertas com outras, de solo e areia. Se corretas essas duas suposições seria inteiramente possível que atividades vulcânicas circunscritas fundissem o gêlo e aquecessem o solo a temperaturas suficientes para formar oásis de tipos mais elevados de vegetação.

Em 1956, e de novo em 1958, o astrônomo norte-americano William M. Sinton descobriu certas "faixas de absorção", caracterís-

ticas de moléculas orgânicas, no espectro infravermelho das regiões escuras de Marte. Essas faixas também se observam no espectro da luz refletida por vegetação da Terra. Muitos astrônomos pensam que essa descoberta é a prova final da existência de vida vegetal em Marte.

Apesar disso é melhor esperar as mensagens telemetradas e imagens de televisão que serão transmitidas pelas nossas futuras sondas de Marte, antes de uma resposta definitiva.

A 14 de julho de 1965, a primeira sonda de Marte bem sucedida, o Mariner IV, passou a uma distância de 11.000 quilômetros do planêta, transmitindo um total de 21 fotografias de qualidade variável. Entre diversos detalhes da superfície, as figuras revelaram a existência de grandes crateras que não parecem muito diferentes das lunares. Algumas crateras e bordas de montanhas pareciam cobertas de gêlo ou geada. De modo geral, o pequeno trecho fotografado era mais montanhoso do que se esperava. Se por um lado as fotografias falharam em relação à prova conclusiva sôbre a existência dos controvertidos canais, alguns astrônomos acreditam ter identificado pelo menos um dêles em uma das fotos. De acôrdo com essa interpretação, êsse canal é uma depressão em faixa ou vale de vários quilômetros de largura, e quase um de profundidade, entre duas escarpas que se erguem à altura do planalto circundante.

Se o Mariner IV nos forneceu algumas respostas acêrca de Marte, também não deixou de sugerir novas perguntas. Marte continua a ser o mesmo desafio de sempre. Novas sondas Mariner, mais aperfeiçoadas, e a espaçonave Voyager, não tripulada, que circulará repetidamente em tôrno de Marte descendo depois na sua superfície, deverão fornecer novos conhecimentos. Se o que êsses veículos encontrarem fôr interessante para justificar uma visita pessoal, o homem irá sem dúvida levantar velas para Marte.

Quando Desceremos em Marte?

Para melhor avaliar o tempo e o esfôrço necessário para preparar uma descida em Marte, deveremos primeiro examinar certos aspectos, como distância, tempo de viagem e plano de vôo, em todos os seus detalhes.

Lugar de partida. É quase certo que uma expedição tripulada à Lua, não terá ponto de partida na Terra, mas numa "órbita de partida", baixa, em tôrno da Terra. Aí, a nave interplanetária será montada com as partes levadas da Terra por meio de foguetes cargueiros terra-órbita.

Tamanho da tripulação. Uma expedição a Marte pode requerer tripulação de seis, dez, ou mais. Para uma viagem interplanetária há vários argumentos a favor de tripulação maior do que o trio de astronautas que deverão fazer a viagem, muito mais curta, à Lua. A duração da expedição a Marte aumenta a possibilidade de doença em algum membro da tripulação, surgindo a necessidade de cuidados médicos e possível substituição. A adição de mais alguns tripulantes poderá dar utilidade científica muito maior à expedição. E, como o equipamento será muito mais complexo do que o de uma viagem à Lua, precisar-se-á de maior atendimento e manutenção.

A nave foguete interplanetária. Dada potência de suas manobras na terra, na órbita e em Marte, podemos supor que a espaçonave deverá usar uma das seguintes formas de propulsão:

> Motores químicos de alta energia, queimando combustível líquido (hidrogênio e oxigênio).
>
> Motores nucleares, do tipo Rower, de núcleo sólido, empregando hidrogênio líquido como único combustível. Êsses motores dão quase o dôbro do "impulso específico" (medida da eficiência propulsiva) dos motores químicos de alta energia.

Carga útil. Além do pêso da própria nave, da tripulação e do combustível, devemos considerar vários outros itens de carga útil, como:

> Oxigênio, alimento e água para suprir a tripulação durante tôda a expedição.
>
> *Abrigo simples contra radiação.* Os períodos de intensificação da radiação solar, razoàvelmente previsíveis em curtos períodos como o da viagem de ida e volta à Lua, não podem ser previstos no caso de uma longa viagem de ida e volta a um planeta.

Compartimento giroscópico para proporcionar gravidade artificial, ou pelo menos uma centrífuga para exposições ocasionais.

Rádio-aparelhos que abranjam distância interplanetárias com segurança e elevada proporção de dados.

Passemos agora à estimativa mais pormenorizada da distância, do tempo e dos planos de vôo.

A comparação com um vôo à Lua ajudará a visualizar melhor o vôo interplanetário em perspectiva. A distância média entre a Terra e a Lua é de cêrca de 450.000 quilômetros e uma trajetória Apolo típica é apenas um pouco mais longa.

As maiores aproximações de Marte chegam a 64 milhões de quilômetros. Contudo, o Mariner IV precisou viajar ao longo de uma trajetória circunsolar de 600 milhões de quilômetros antes de lá chegar.

Tempo de vôo. Um vôo típico à Lua precisa de dois e meio a três dias .O Mariner IV viajou oito meses para chegar a Marte. Ambos os vôos só de ida. Mas ninguém quer fazer viagem espacial só de ida.

Uma viagem Apolo típica de ida e volta à Lua deve durar uns dez dias, incluindo-se estada de 24 horas na superfície da Lua. Calcula-se que uma viagem nas mesmas condições até Marte, com estada de vinte dias, durará cêrca de quatrocentos a quatrocentos e cinqüenta dias. Isso leva em conta que, para retornar de outro planeta com gasto razoável de combustível, o vôo de volta deve ser realizado quando êsse planêta e a Terra estejam em posições mais ou menos favoráveis, dentro de suas órbitas.

Requisitos de velocidade. Para alcançar a Lua, a espaçonave deve adquirir velocidade apenas um pouco menor do que a de fuga da Terra, que é a velocidade necessária para escapar permanentemente à atração gravitacional da Terra.

Para uma viagem só de ida a Marte, a espaçonave não precisa de velocidade muita alta. Apenas uma ninharia a *mais* do que a velocidade de fuga basta para levá-la para fora do campo da Terra. A espaçonave entrará em órbita à volta do Sol, que a levará além do Sol (a Marte, por exemplo) se o excesso de velocidade fôr na direção do movimento orbital da terra em volta do Sol. A velocidade real com que a espaçonave entra na sua trajetó-

ria a Marte será igual à tremenda velocidade orbital da própria Terra, de 34 quilômetros por segundo, mais o pequeno excesso em relação à Terra.

Para a viagem de volta, os requisitos de velocidade são da mesma ordem de magnitude da viagem de ida. Mas cada grama de combustível do foguete a ser consumido ao deixar Marte representa uma carga para o foguete que partir da Terra — muitos litros de combustível deverão ainda ser consumidos antes de chegar a Marte. Essa é diferença fundamental entre os requisitos de potência para uma viagem só de ida e uma expedição interplanetária de ida e volta com permanência.

Descida num planeta. Para pôr os pés num planeta, o homem precisa primeiro diminuir a velocidade do seu veículo a fim de que o planêta possa "capturá-lo". Da resultante órbita em tôrno do planêta o explorador poderá então descer à sua superfície numa cápsula de pouso que, naturalmente, deve ser provida de propulsão para retornar à orbita, após o término da missão na superfície. Em princípio, isso é muito parecido com a descida na Lua e a nova subida com o "Bug" Apolo. Mas num planeta com atmosfera a descida, com aproveitamento judicioso das fôrças de frenamento aerodinâmicas, pode economizar o suprimento de combustível da expedição.

Reentrada. O emprêgo de frenagem aerodinâmica para economizar combustível torna-se muito importante na manobra terminal de uma expedição a Marte — a volta à atmosfera terrestre. Para alcançar outro planeta é preciso, como vimos um pouco mais do que a velocidade de escape da Terra. Uma espaçonave de volta irá aproximar-se da terra com velocidade também um pouco superior à velocidade de fuga. Assim, a volta de uma espaçonave vinda de Marte ou Vênus será sempre em maior velocidade do que aquela, de subescape, com que um Módulo de Comando Apolo volta da Lua. As fôrças impostas a uma espaçonave interplanetária pelos movimentos relativos da Terra e do planeta-alvo em combinação com o desejo de abreviar o tempo total de viagem, associam-se para tornar a velocidade de volta, de Marte, substancialmente superior à velocidade de volta da Lua.

Se pudermos construir, para uma expedição a Marte, um Módulo de Comando que possa suportar com segurança a alta velocidade de reentrada, poderemos evitar a necessidade de diminuir-lhe a

velocidade por meio de foguetes até a velocidade subescape conveniente à reentrada. Isso seria de grande importância prática, pois qualquer ação de frenamento teria de realizar-se à custa de combustível levado até Marte e de volta, apenas para essa manobra final. Felizmente parece que serão possíveis cápsulas para reentrada em velocidades superiores à de fuga.

Conclusão. Considerando tudo isso, podemos agora avaliar o pêso de uma espaçonave inteiramente carregada e pronta para decolar com destino a Marte.

Como exemplo específico, consideremos uma expedição com tripulação de oito homens, uma oportunidade favorável como o ano de 1986, e uma estadia de cêrca de vinte dias em Marte com reentrada a "tôda velocidade" isto é, sem frenamento com foguetes, na atmosfera da Terra.

O pêso da astronave interplanetária, inteiramente carregada e abastecida com propulsores químicos, será cêrca de 1.800.000 quilos. Para uma espaçonave nuclear o pêso seria de 700.000 quilos. Isso é o que deveria ser levado por foguetes de carga e montado em órbita terrestre.

Suponhamos que êsses foguetes de carga sejam do tipo do Saturn V, o mais poderoso dos foguetes que temos construído. A capacidade Terra-órbita do Saturn V é de 120 toneladas de carga útil, o que, com o tempo, poderá ser aumentado até 150, de modo que três dêsses Saturnos avançados poderiam colocar em órbita quase meio milhar de toneladas de carga.

Assim, doze Saturnos novos poderiam levar para órbita o pêso de uma astronave química Marte. Cinco dêles levariam a nave nuclear. Contudo, o número de vôos de suprimento realmente necessários talvez seja o dôbro, dada a demora da operação orbital de montagem, que ocasiona perdas de combustível por evaporação e requer rodízio da tripulação de montagem.

Os números são elevados, mas não proibitivos. No espaço, como em qualquer outra atividade, precisamos aprender a engatinhar antes de andar e, é claro, temos muito que aprender antes de começar a pensar em montar uma expedição interplanetária tripulada.

Em que ponto estamos?

Veículos de lançamento e espaçonaves para descida na Lua, com tripulação, são pràticamente a realidade. Motores de fogue-

tes e equipamento direcional já estão em estado avançado em relação aos testes de terra e ar. Os primeiros estágios de vôo do Saturno V já alcançaram a plataforma de lançamentos e os módulos da espaçonave Apolo já voaram com sucesso.(*)

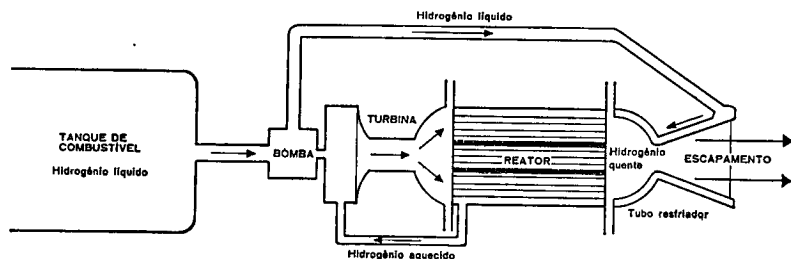
E a data de lançamento da primeira expedição tripulada a Marte? Talvez 1986 não seja um mau ano, sob todos os pontos de vista.

Energia Atômica para Foguetes

O motor de foguete nuclear é, em essência, um reator, perfurado por estreitos canais entre os quais se bombeia hidrogênio líquido. Quando retiradas as barras de contrôle, uma reação em cadeia por neutrons aquece o reator a ponto de torná-lo branco. A ação das barras de contrôle mantém êsse nível de temperatura.

Levado por uma bomba movida a turbina, o hidrogênio líquido flui a princípio através de passagens para resfriar o tubo de escapamento e o compartimento de pressão do reator. Ainda muito frio mas já em estado gasoso, êle entra no reator. Nos canais tubulares dêste, êle é aquecido a temperatura de vários milhares de graus. Aí o hidrogênio é expelido através do tubo de escapamento.

Em razão do baixo pêso molecular do hidrogênio, a velocidade de escapamento é muito alta, o que significa grande economia de combustível.

O coração de um motor de foguete nuclear é então o reator, que converte energia nuclear em calor e o impele.

(*) Mesmo em órbita lunar (Apollo-9). (N.R.)

O combustível é constituído de um tipo especial, ou "isótopo", de urânio metálico, chamado U-235. Quando apropriadamente bombardeados por neutrons, os átomos de urânio sofrem "fissão", ou seja, rompem-se em dois fragmentos e nesse processo emitem mais neutrons, que por sua vez vão bombardear novos átomos.

O processo de fissão liberta energia porque a soma das energias de ligação necessárias para manter juntos os dois fragmentos é menor do que a energia de ligação do núcleo original de U-235. O excesso de energia é carreado pelo par de fragmentos, pelos nêutrons e em raios-gama. Como todos os fragmentos e a maior parte dos raios-gama são mantidos dentro do reator, o grosso da energia libertada pela fissão do U-235 irá aquecer o reator.

Para que um motor de foguete nuclear seja tèrmicamente eficiente, a temperatura do reator deve ser a mais alta possível. O ponto de fusão do urânio, de 1.130 graus, estabelece o limite teórico. A grafite, que suporta temperaturas muito mais elevadas, é ótimo "moderador" para o reator, reduzindo a velocidade dos nêutrons à nível mais adequado à reação com os átomos de urânio. Assim, todos os reatores experimentais para motores de foguetes nucleares são compostos de pó metálico de U-235 incluído em grafite. Para que o reator opere em nível constante de energia é necessário que, em média, exatamente um nêutron produzido por fissão cause outra fissão. Todo o excesso de nêutrons deverá ser dispersado.

Em dado desenho de motor de foguete nuclear certa porcentagem de nêutrons, mais ou menos fixa, perde-se por vazamento para o exterior e, em particular, através de absorção de partículas que não produzem fissão. O resultante equilíbrio dos nêutrons pode ser ajustado por meio das barras de contrôle de material que absorva nêutrons, pela variação da profundidade de sua inserção no reator.

Êsse problema de contrôle é muito simplificado pelo "retardo" de alguns dos nêutrons emitidos (um pouco menos de um por cento), ou seja, não emitidos no instante da fissão, mas segundos depois. Isso permite o emprêgo de contrôle relativamente lento para manter o reator no nível de energia desejado.

Exatamente como acontece num motor de foguete químico, bombeia-se hidrogênio líquido (propelente) para dentro do resfriador do tubo de escapamento do motor. Aquecendo-se gradati-

vamente, êle flui para cima, através de um "refletor" (que manda de volta para dentro do reator os nêutrons que se dirigiam para fora), em direção à cúpula do motor, onde é girado.

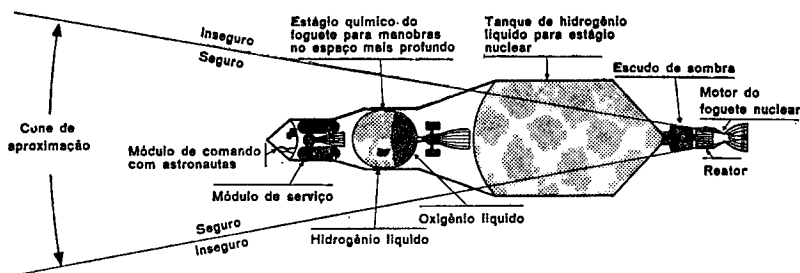
Reduzido agora a um gás frio, o hidrogênio entra em várias centenas de passagens estreitas, cavadas através do coração de grafite e urânio do reator, e é aquecido quase até à temperatura operacional do reator, que é a do branco. Saindo das passagens, o gás quente expande-se através de um tubo convencional de escapamento, DeLaval, onde atinge velocidade supersônica. O escapamento de motor de foguete nuclear alcança velocidades de 7.500 a 9.000 metros por segundo.

Em têrmos de economia de combustível, isto significa que obtemos, de cada quilo de combustível, cêrca do dôbro do que obtemos de um foguete químico, cujo motor é alimentado pela combustão química de hidrogênio e oxigênio.

O motor de foguete nuclear apresenta problema de radiação, mas isso não implica perigos inaceitáveis.

O mais sério problema de radiação é provàvelmente de o motor permanecer "quente" mesmo após desligado. Os insidiosamente perigosos fragmentos atômicos, criados pelo processo de fissão, continuam emitindo raios beta e gama, que só se escoam após semanas e meses.

Ao contrário do que acontece com os motores químicos, os motores de foguetes nucleares não podem, pois, ser inspecionados pessoalmente após funcionamento. Precisam ser colocados em "células quentes", observados através de janelas de várias camadas de vidro especial com proteção, e desmontados e reparados apenas por meio de manipuladores de contrôle remoto. Mesmo os tanques usados no funcionamento do motor com o foguete parado devem ser destacados do motor e enviados a uma dependência onde fiquem "resfriando" antes que possam ser removidos de volta à oficina de montagem. Essa situação torna virtualmente impossíveis as provas de funcionamento estáticas dos motores de foguete nuclear, antes do seu embarque para a plataforma de lançamento.

Outro problema de radiação refere-se à segurança dos astronautas de um foguete nuclear em vôo. Enquanto estiverem dentro de sua cápsula, no nariz do foguete, estarão protegidos por uma

PROTEÇÃO BIOLÓGICA

substancial quantidade de material que absorve radiação, localizado entre êles e a radiação do motor.

O emprêgo dos foguetes nucleares implica todavia, manobras de encontro em órbita, como para mudança de cápsula, de tripulação e reabastecimento. Aproximações de encontro e acoplamento só serão permissíveis dentro do "cone de aproximação", explicado em meu esbôço.

Há ainda outro problema: a radiação aquece as partes mais próximas do motor do foguete.

O motor de foguete nuclear, que produz cem toneladas de impulso, trabalha em nível de energia de reator de vários milhões de quilowatts. Num motor de foguete nuclear bem construído, apenas um por cento da energia escapa como radiação gama e nêutron, mas, no nível de energia em questão, isso ainda atinge a dezenas de milhares de quilowatts! Compare-se com o calor irradiado por uma lâmpada de uns míseros 100 watts, e será fácil compreender por que as partes próximas a um motor de foguete nuclear precisam de resfriamento ativo por um adequado percurso do fluxo de hidrogênio líquido até ao motor .

À parte os efeitos do calor, a radiação emitida pelo reator tem efeito deletério em muitos dos materiais de construção usados nos foguetes. Os metais comportam-se razoàvelmente bem, mas a duração dos materiais orgânicos e plásticos, como borracha, teflon ou poliuretano, reduz-se muito, e mesmo a transparência do vidro é prejudicada. Particularmente vulneráveis são os elementos eletrônicos em estado sólido, como os transístores que, se não forem banidos dos foguetes nucleares, deverão ser pesadamente blindados.

É interessante notar que a temida repulsão ou explosão na plataforma de lançamento não apresenta risco sério, simplesmente porque todos os foguetes nucleares muito provàvelmente serão lançados por meio de energia química. Assim o reator, não tendo jamais sido operado antes, estará livre dos perigosos produtos radioativos de fissão.

Mas é preciso tomar precauções especiais para evitar que um reator nuclear caia dentro do mar. A água, entrando nos canais tubulares pelos quais o hidrogênio líquido passa através do reator, pode alterar dràsticamente o delicado equilíbrio dos nêutrons, daí resultando a possibilidade de o reator entrar em "andamento crítico" e destruir-se. Embora a energia liberada em tal acidente não seja comparável à de uma bomba atômica, o efeito não deixaria de ser uma explosão, lenta, acompanhada por formidável surto de radiação gama e de nêutrons. Para evitar êsse acontecimento, no caso de desastre no lançamento, é imperativo que haja um modo qualquer de destruir o reator.

O motor de foguete nuclear não pode ser ligado e desligado abruptamente. A tremenda diferença entre a temperatura original do hidrogênio líquido (—253 graus) e a temperatura de calor branco em que o reator opera quando a plena potência, torna necessário iniciar o seu funcionamento relativamente devagar. Caso contrário, seria impossível evitar as rachas no quebradiço núcleo de grafite do reator. Além disso, o aumento do fluxo de hidrogênio através do reator (controlado pela bomba de alimentação de hidrogênio líquido) deve ser cuidadosamente sincronizado com o aumento do nível de potência do reator (controlado pela posição das barras de absorção de nêutrons).

Desligar o reator é problema ainda mais sério. Durante o seu funcionamento, o reator contamina-se com os produtos de fissão altamente radioativos. Por alguns minutos êsses produtos de fissão continuam emitindo forte "radiação de desintegração", que destruiria o coração do reator pelo aquecimento, a menos que se mantivesse o fluxo de hidrogênio através de suas passagens.

Êsse "pós-resfriamento" dos motores de foguetes nucleares não é, necessàriamente, um desperdício. Sabe-se de antemão a quantidade de hidrogênio necessária para evitar o superaquecimento do coração do reator. Assim, num vôo espacial típico o motor nuclear seria desligado pouco antes de alcançada a requerida ve-

locidade de vôo. O que faltasse para equilibrar a velocidade seria produzido pelo escapamento do "pós-resfriamento", aquecido pela radiação de desintegração.

Os usos mais promissores dos foguetes nucleares parecem ser:

Para os estágios superiores dos grandes foguetes a retropropulsão química, especialmente em missões que requerem velocidades finais muito elevadas.

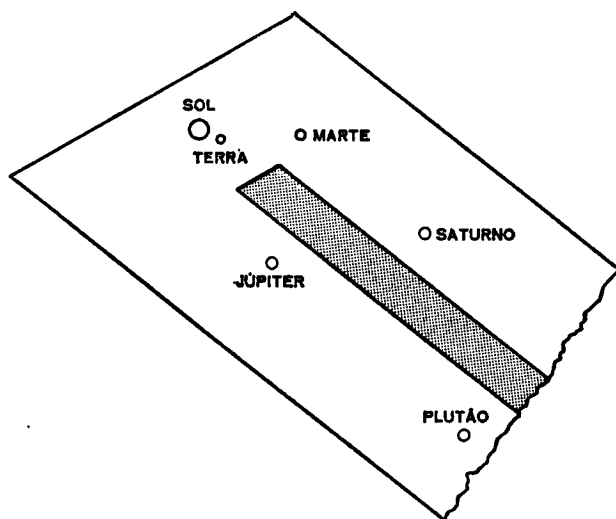
Para veículos de suprimento em vai-e-vem entre uma órbita baixa da Terra e uma órbita em tôrno da Lua (com reabastecimento durante permanência na órbita da Terra).

Para veículos espaciais planetários cuja viagem comece a partir de órbitas terrestres. Êsses veículos poderiam ser montados em órbita, de partes e combustíveis trazidos da Terra por vários foguetes quìmicamente propelidos.

Poderemos um dia Ir às Estrêlas?

Os vinte últimos anos deveriam ter nos ensinado a usar a palavra impossível com a mais extrema precaução. Apesar disso, a viagem do homem para além do nosso sistema solar é estarrecedora concepção. Mesmo os mais otimistas não esperam que isso aconteça em nossa geração, ou na próxima.

A luz, viajando a 300.000 quilômetros por segundo, precisa de 8,3 minutos para vencer os 150 milhões de quilômetros entre a Terra e o Sol. A luz leva 5 horas e meia do Sol até Plutão, o planeta mais afastado de nosso sistema solar. Mas são precisos 4,3 anos para alcançar a estrêla Alfa, do Centauro, a estrêla fixa mais próxima, (a 4,3 anos-luz de distância); 470 anos até Polaris; e 27.000 anos para chegar ao centro de nossa galáxia — uma ilha no espaço, em forma de lente, de diâmetro pouco inferior a 100.000 anos-luz, composta de um total avaliado em 200 bilhões de sóis.

A construção de foguete que tenha a potência necessária para ir tão longe também é concepção de estarrecer. Para que um objeto seja colocado numa órbita baixa em tôrno da Terra, devemos imprimir-lhe velocidade um pouco superior a 7.500 metros por segundo. Cêrca de 11.000 metros por segundo para arremessá-lo

Para imaginar a distância até uma estrêla — êste desenho em escala do Sol e da Terra a três milímetros de distância deveria se estender a quase um quilômetro para mostrar a distância à estrêla mais próxima.

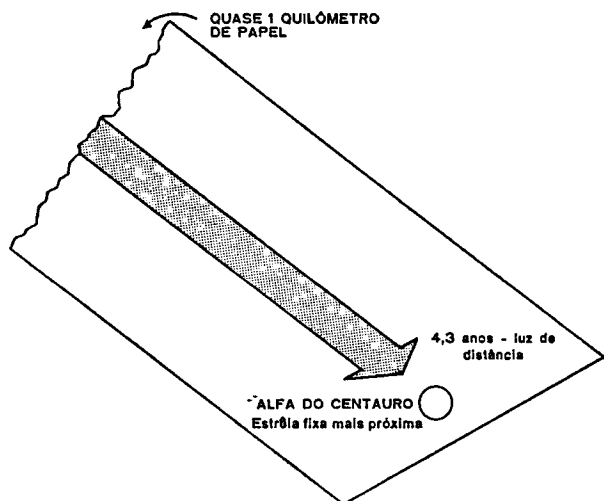
à Lua, que ainda está dentro da fôrça gravitacional da Terra, e um pouquinho mais para libertá-lo inteiramente da atração da Terra. Se o acelerarmos a uma velocidade final de 17.000 metros por segundo (de modo que deixe a Terra na mesma direção em que esta segue a sua órbita em tôrno do Sol, a 32.000 metros por segundo), êle entrará numa trajetória parabólica e escapará do nosso sistema solar.

Do ponto de vista da potência necessária, não parece exagerada a velocidade de 17.000 metros por segundo (60.000 quilômetros por hora). Com um estágio extra no tôpo do Saturno V, o nosso foguete Apolo à Lua pode imprimir essa velocidade a um objeto de uns 3.600 quilos. E se conjugássemos o tempo de lançamento de modo que o estágio mais elevado, em retrocesso, recebesse adequada "ajuda de impulso" pelo poderoso campo gravitacional de Júpiter, poderíamos mesmo duplicar essa carga útil. Mas se o objeto seguisse, esgotada sua potência, o caminho "montanha acima", para fora da atração da gravidade solar, então sua velocidade diminuiria gradualmente até quase zero. E milhões de

anos iriam decorrer antes que êle alcançasse uma das mais próximas estrêlas fixas.

Para reduzir o tempo de viagem a números mais compatíveis com a duração da vida humana, as velocidades de viagem deverão ser da ordem da velocidade da luz.

Nem a fissão nuclear nem o processo de fusão nuclear são adequados à produção dessas velocidades. Apesar de tôda a sua impressionante exibição de fôrça, êsses processos apenas convertem mínima fração da massa utilizada em energia. Seria necessário inventar um mecanismo de foguete onde *tôda* a massa (M) do combustível usado se convertesse em energia de radiação. E, de acôrdo com a famosa equação de Einstein, $E = M \times C^2$. O escapamento dêsse "foguete de fótons" seria um feixe de radiação e a velocidade de escapamento seria, naturalmente, igual à velocidade da luz (C).

O problema é que ninguém sabe construir um foguete a fótons. Conhecemos certos processos subatômicos, como a união de um elétron (pequena partícula, elètricamente carregada) e de um positron (partícula positiva, igualmente pequena) que transforma a matéria diretamente em energia, de acôrdo com a equação de Einstein. Mas até agora os físicos não conseguiram imaginar um processo para fazer essa transformação em larga escala.

Há também tremendos obstáculos que dizem respeito à engenharia da propulsão. Por definição, um foguete a fótons converte o fluxo do seu combustível num feixe de luz extremamente poderoso. Para concentrar êsse feixe é necessário uma espécie qualquer de espelho. Ainda que êsse espelho tivesse uma refletividade de 99 por cento, maior do que a dos melhores que existem, aquêle um por cento de radiação absorvida bastaria para fundí-lo instantâneamente, considerando-se os bilhões de quilowatts convertidos em energia e transportados pelo feixe de luz.

É impossível exceder a velocidade da luz. Mas, como veremos, essa declaração é, em parte, uma questão de definição. Suponhamos que já houvéssemos resolvido os problemas "menores" que acabamos de descrever e que realmente tivéssemos um foguete capaz de transformar cem por cento da massa de seu combustível em energia luminosa, com velocidade de escapamento igual à da luz. Que poderíamos fazer com êle?

Se o foguete tivesse uma proporção de massa igual a 3 (é a razão entre os seus pesos quando completamente abastecido e vazio), êle poderia alcançar 80 por cento da velocidade da luz. Com uma proporção de massa igual a 10, sua velocidade final seria de cêrca de 98 por cento; e com uma proporção igual a 1.000 (mais ou menos o que temos hoje em alguns dos nossos foguetes químicos planetários de vários estágios) atingiríamos 99,9998 por cento da velocidade da luz.

Citamos de novo o dr. Einstein. Sua Teoria da Relatividade (que resistiu a várias provas cruciais e é universalmente aceita pela ciência) demonstra que a *inércia da massa de um objeto se aproxima do infinito quando a velocidade dêsse objeto se aproxima da velocidade da luz.* Então seria preciso potência infinita para acelerar um objeto além de "barreira da luz".

Mas, surpreendentemente, a mesma teoria afirma que um astronauta poderia ainda viajar para uma estrêla a um milhão de anos-luz de distância e voltar, dentro de sua vida de adulto.

Sim; por mais incrível que possa parecer, um astronauta poderia viajar 2.000 anos-luz durante a sua existência. A "dilação de tempo" o ajudaria a permanecer jovem. Para muita gente, o fenômeno chamado de dilação do tempo é pílula difícil de engolir. O fluxo do tempo parece-nos de todo independente das condições físicas. Quer estejamos dormindo ou trabalhando, sentados a uma

escrivaninha ou num jato veloz, nosso relógio parece bater no mesmo diapasão. Isso se dá também com o nosso coração.

Mas o fato é que êsse apreciado "implemento de experiências cotidianas" só é válido no reino de velocidades relativamente baixas em que nós, pobres tartarugas, vivemos.

Quando um méson (partícula subatômica instável) viaja com velocidade próxima à da luz, seu tempo de desintegração é distintamente maior do que a sua meia-vida em velocidades mais baixas (2,1 microssegundos), quando êsse tempo é medido por um observador fixo na Terra. Mas se o observador se estivesse deslocando juntamente com o méson, a meia-vida de 2,1 microssegundos não pareceria afetada pela velocidade da partícula, pois o relógio do observador estaria sujeito à mesma dilação que o próprio méson.

A Teoria da Relatividade ensina que o compasso do tempo se torna cada vez mais lento para um objeto cuja velocidade se vai aproximando da velocidade da luz, em comparação com velocidade da passagem do tempo para um observador estacionário. Na velocidade mesma da luz – limite máximo que objeto algum poderá jamais alcançar – o tempo pararia completamente. O objeto que pudesse deslocar-se tão depressa, percorreria distâncias enormes, ao passo que, para um homem que se deslocasse juntamente com êle, não haveria decurso de tempo – nem para o seu relógio, nem para as batidas de seu coração, que controlam a duração da vida.

Êsse estranho efeito permite a um astronauta viajar da Terra a uma estrêla fixa a mil anos-luz de distância num tempo que êle acreditaria ser de 13,2 anos. Caso não houvesse um tempo adicional de estado no seu destino, êle teria assim estado longe da Terra durante 26,4 anos. O desastre é que, durante a sua ausência, teriam decorrido mais de dois mil anos na Terra. Assim, ao voltar êle poderia acabar num jardim zoólogico.

Suponha-se que temos um foguete a fótons capaz de aceleração contínua de 1 g. Suponha-se também que a nossa proporção de massa é suficiente para dar-nos velocidade próxima à da luz, levar-nos a uma estrêla a mil anos-luz, diminuir a velocidade de modo que possamos visitar um dos planêtas dessa estrêla. O foguete também será capaz de nos trazer de volta à Terra – reabastecendo-se possìvelmente naquele distante sistema solar.

Ao partir da Terra, as estrêlas do firmamento irão a princípio apresentar a sua côr característica, familiar, meio amarela. A medida que aumenta a velocidade de nosso veículo em direção ao nosso alvo estrelar, o efeito Doppler produzirá notável variação na côr dessa estrêla. Sua côr amarela irá passar ao verde, azul, violeta e ao ultravioleta – em outras palavras a freqüências mais altas. Simultâneamente, a côr do Sol que se afasta irá mudando aos poucos do amarelo para o laranja, vermelho e infravermelho, ou seja, para freqüências mais baixas.

É fácil compreendê-lo. Um barco correndo *contra* as ondas é batido por elas com *maior* freqüência do que um mourão estacionário, um barco correndo com as ondas encontra-se com *menor* freqüência.

Após 3 meses e meio, nosso foguete atinge cêrca de trinta por cento da velocidade da luz. A freqüência da radiação pico do Sol ultrapassa agora o limite do espectro visível, entrando no infravermelho. Como resultado, o Sol esmaece ràpidamente e torna-se invisível. Um mês mais tarde a estrêla a que nos destinamos torna-se também invisível – o pico de sua intensidade de radiação desviou-se para dentro do ultravioleta.

À medida que a nossa velocidade continua aumentando, aparecem duas manchas circulares escuras em volta do Sol e da estrêla alvo, que vão aumentando de tamanho. Entre essas marcas escuras "entre a proa e a pôpa", as estrêlas do céu aparecem como rêde multicor de círculos concêntricos, qual imenso arco-íris.

Perto da mancha escura à proa, as estrêlas parecem violeta. Mais para trás, são azuis e verdes. Para os lados, brilham com sua côr original comum. Mais para trás ainda, parecem laranja; e a mancha escura da popa está circundada por um anel de estrêlas vermelhas.

Em conseqüência dos efeitos "relativísticos", a mancha escura da proa só cresce até um ângulo com abertura de 43 graus. Após atingir 75 por cento da velocidade da luz (onze meses após a partida), ela começa a diminuir. Mas a mancha da pôpa, em volta do Sol, continua a crescer. Assim, à medida que a nossa velocidade se aproxima da velocidade da luz, a parte vísivel do firmamento se irá comprimindo num arco-íris cada vez mais estreito em tôrno da estrêla invisível a que nos destinamos.

O ângulo de abertura do anel amarelo dêsse arco-íris é um perfeito padrão para medir a razão entre a nossa velocidade de viagem e a velocidade da luz. Por analogia com o bem conhecido número Mach (razão entre a velocidade de vôo e a do som), esta razão é às vêzes chamada de número de Einstein.

A 6,6 anos após a partida, nosso veloz foguete a fótons atinge o número Einstein 0,999998 e estamos na metade do caminho. Contudo, tentando medir a distância que falta para chegar à nossa estrêla, (que agora emite radiação X, principalmente) achamos que ela está a apenas um ano-luz de distância! De fato, sem qualquer modificação na energia aplicada, passaríamos por ela um ano mais tarde — 7,6 anos de "tempo dilatado da nave", após a partida — se não tivéssemos de diminuir a marcha para fazer a visita programada.

Mas para visitar um dos planetas dessa estrêla nosso veículo tem de fazer meia volta e usar o impulso do nosso foguete fotônico para frenar. Naturalmente, como estamos diminuindo a velocidade, iremos alcançar o nosso alvo não em mais um ano mais, porém muito depois. Só após outros 6,6 anos — 13,2 anos após a partida estaremos perto do nosso alvo, com velocidade de aproximação relativa próxima de zero. Durante o segundo período de 6,6 anos, isto é, durante a manobra de retardamento, todos êsses fenômenos de arco-íris celestes do período de aceleração acontecem às avessas. À chegada, o céu voltará à sua aparência costumeira.

Se tivéssemos um telescópio tão poderoso que permitisse observar os acontecimentos na Terra, a partir dêsse ponto de observação, encontraríamos nosso planeta mais ou menos como estava quando o deixamos. Mas, como estamos a mil anos-luz de distância, estaremos observando acontecimentos de mil anos atrás (É o tempo não dilatado que decorreu na Terra desde que partimos). O extraordinário é que, em vista da dilatação a bordo da nossa nave em veloz deslocamento, envelhecemos apenas 13,2 anos, durante nossa viagem no espaço.

Por mais fastasmagórico que isso possa parecer, está em perfeita harmonia com as modernas leis sôbre espaço e tempo. (Os homens têm hoje a mesma dificuldade em aceitar o conceito de tempo relativístico que nossos ancestrais tinham em compreender como as pessoas "lá de baixo", na Austrália, podiam caminhar de cabeça para baixo sem cair para fora do globo. Mas isso é porque nossa

experiência não abrange distâncias tão grandes e tão grandes velocidades).

Se por um lado a intuição da física moderna nos permite dissecar a anatomia do vôo interestelar, devemos evitar conclusões prematuras sôbre a possibilidade e iminência dêsses vôos. Não podemos ainda nem mesmo definir uma fonte de energia adequada. Se a tivéssemos, muitos problemas sôbre o seu emprêgo estariam além de nossa capacidade. Outros obstáculos podem ser ainda mais insuperáveis. Por exemplo: que aconteceria a um foguete interestelar que batesse num meteoróide, ainda que pequeno, se desse à velocidade da luz?

Em resumo, com os nossos conhecimentos atuais, só podemos responder ao desafio do vôo ao espaço estelar com conceitos intelectuais e análises puramente hipotéticas. Soluções concretas estão ainda inteiramente fora do nosso alcance e longe, muito longe.

Biblioteca
"TEMAS MODERNOS"

Volumes publicados:

O SENTIDO DA ARTE — *Herbert Read* — 164 págs.
Um esbôço da história da arte, principalmente da pintura e da escultura, e das bases dos julgamentos estéticos. Edição fartamente ilustrada, com inúmeras reproduções de quadros célebres e esculturas.

SOCIEDADE NUA — *Vance Packard* — 327 págs.
Um exame da tendência cada vez maior à invasão da vida privada do indivíduo, nos Estados Unidos, sob a ação da espionagem científica, da seleção psicológica, dos inquéritos confidenciais, das sondagens de personalidade, dos questionários sôbre coisas íntimas, revelação de opiniões discordantes, aparelhos ocultos para ver e ouvir.

VIETNÃ: HERANÇA TRÁGICA — *Arthur Schlesinger Jr.* — 112 págs.
Sem dúvida o melhor, mais lúcido e mais bem escrito trabalho de análise sôbre a guerra do Vietnã. O Vietnã é assunto de todo o mundo. Por isso interessa a todos êste livro, escrito pelo ex-assessor do saudoso presidente Kennedy.

A ESSÊNCIA DA SEGURANÇA — Ro*bert S. McNamara* —
O autor, que serviu durante sete anos na chefia do mais poderoso complexo militar do mundo, como secretário da Defesa dos Estados Unidos, faz importantes observações nesta série de reflexões. O livro se apresenta como um convite de McNamara a todos os governos do mundo para que se medite sôbre as implicações de um vasto poderio e sôbre o verdadeiro significado da segurança internacional.

NEGRO: O DILEMA AMERICANO — *Arnold Rose.* —
Versão condensada de *An American Dilemma,* do famoso sociólogo Gunnar Myrdal. É o mais completo e profundo estudo até agora publicado sôbre um dos mais graves problemas que enfrentam os Estados Unidos nos dias presentes: O NEGRO.

HITLER: AUTODESTRUIÇÃO DE UMA PERSONALIDADE - *Hans-Ditrich Rohrs* — 181 págs.
Um médico da Saúde Pública da Alemanha, que acompanhou de perto a evolução física e psicológica de Hitler, narra uma das mais incríveis histórias que se possam imaginar a respeito da autodestruição do líder do nacional-socialismo.

ISRAEL: DO SONHO À REALIDADE — *Autobiografia de Chaim Weizmann.*
A importância desta autobiografia de Chaim Weizmann não reside apenas na história, que ela encerra, do movimento sionista até sua culminação com a organização do Estado de Israel. Reside também nas atribulações de uma vida partilhada entre a ciência — Weizmann foi um grande químico — e a política internacional, tendo a ciência constituído, não raro, a fôrça que permitiu a Weizmann aproximar-se dos políticos de seu tempo.

Os Honrados Corruptos — *Walter Goodman.*
Um dos grandes jornalistas de nosso tempo, Walter Godman, faz uma dissecação rigorosa da corrupção na vida norte-americana — seja no mundo político, seja no das emprêsas. Leitura das mais informativas para compreensão do fenômeno da corrupção, que também tanto preocupa, e com razão, os que examinam a vida brasileira.

A Longa Marcha — *Simone de Beauvoir* — 410 págs.
Rigoroso ensaio sôbre a China de Mao Tsé-Tung, no qual a autora descreve o panorama das coisas vistas durante a visita àquele país e fala da história passada da China, as raízês de sua cultura e o temperamento de seu povo.

Crimes em Desfile — *Gerald Sparrow* — 187 págs.
Um juiz penetra a mente do homicida. Uma série de homicídios célebres revividos em tôdas as suas principais características por mão de mestre.

De Leste a Oeste — *Arnald J. Toynbee* — 287 págs.
Relato animado de penetrante observação de uma viagem realizada ao redor do mundo pelo eminente pensador e historiador britânico.

Fertilidade Humana — *Robert C. Cook* — 250 págs.
Obra que trata de um dos mais sérios e graves problemas da atualidade: o aumento em ritmo acelerado da população do mundo. Prefácio de Julian Huxley.

Manias e Crendices — *Martin Gardner* — 314 págs.
Êste livro corajoso, sincero, humano, procura alertar o grande público para a série de atentados que contra a sua natural credulidade praticam os pseudocientistas.

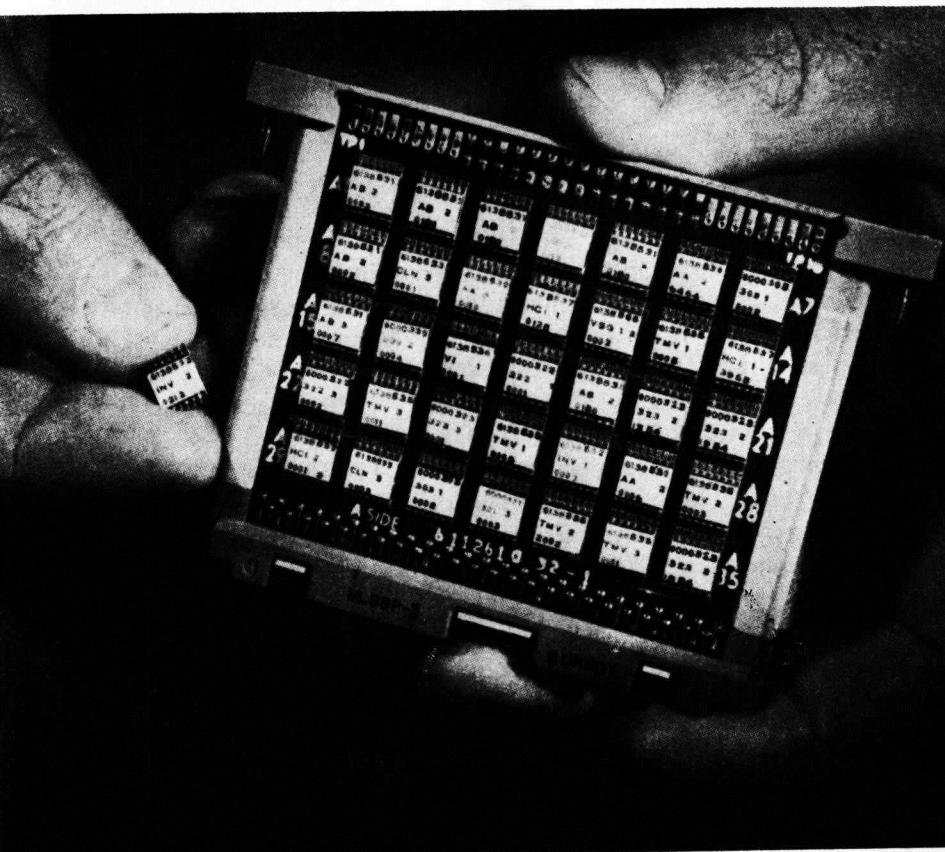
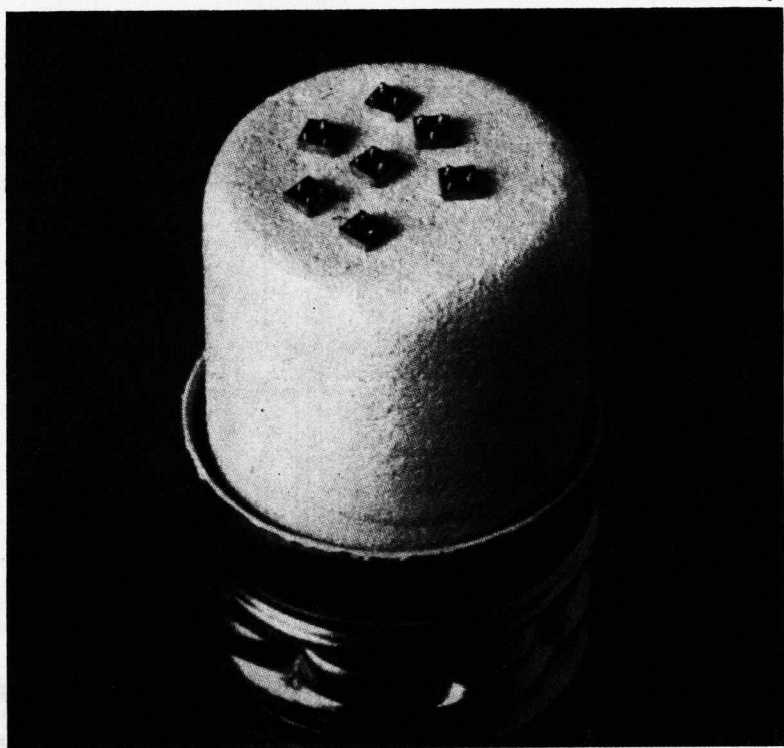
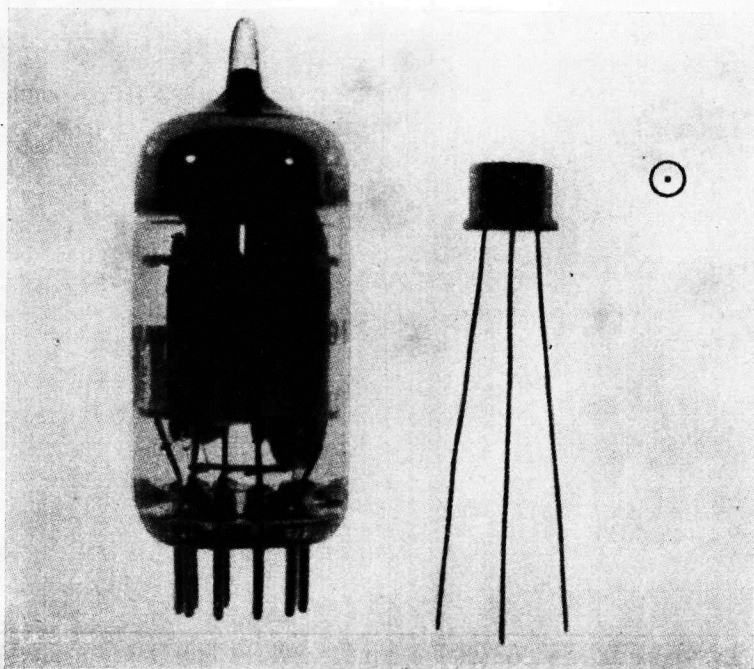
A Nova Ciência dos Soviéticos — *Lucien Barnier* — 268 págs. Esgotado.
Um dos grandes jornalistas científicos da atualidade, depois de visitar por longo tempo tôdas as instalações científicas da U.R.S.S., as mais secretas, relata em detalhe o que tem realizado e pretende realizar a ciência soviética.

Fanáticos e Sábios — *Jean Rostand* — 202 págs.
As várias maneiras pelas quais a verdade científica pode ser adulterada pelos fanáticos de quaisquer ideologias e pelos falsos cientistas.

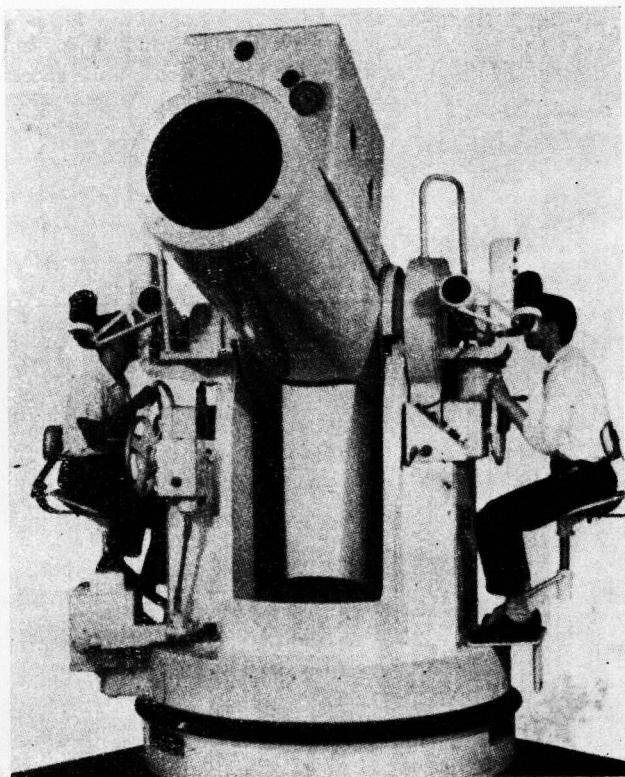
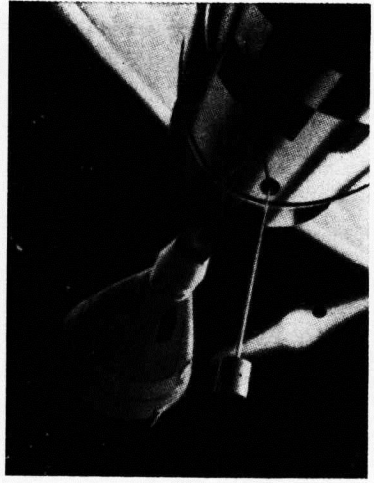
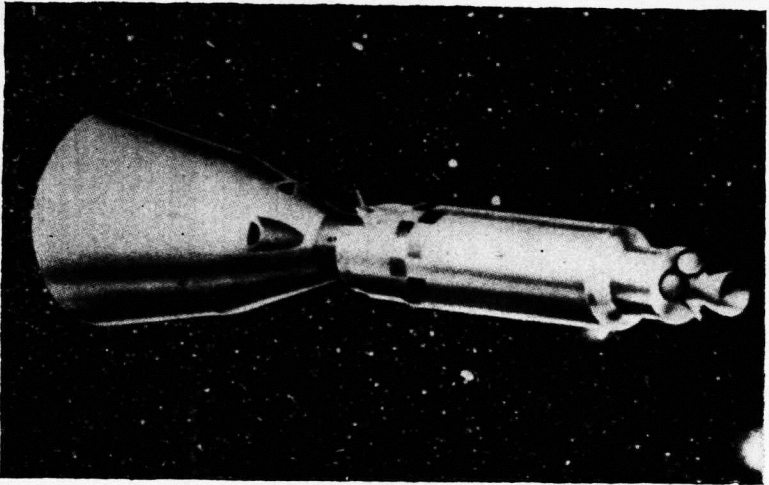
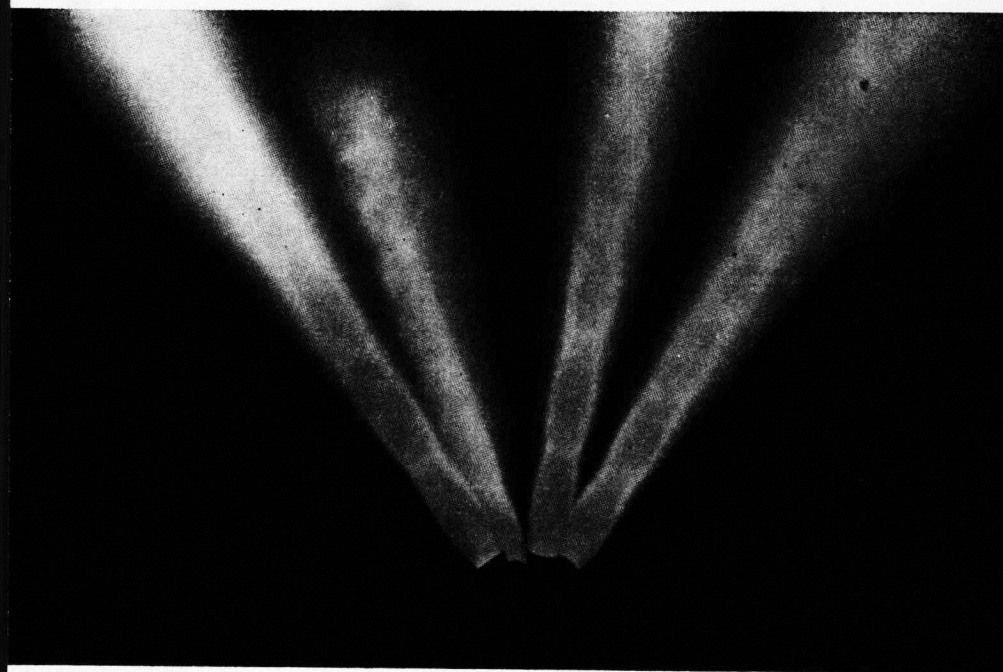
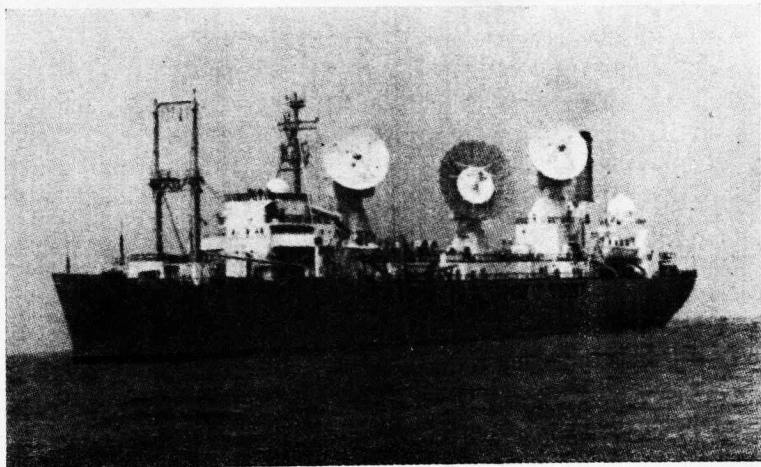
A Conquista do Prestígio Pessoal — *Vance Packard* — 314 págs. Esgotado.
Sondagem do comportamento das classes nos Estados Unidos e das ocultas barreiras que influem em cada cidadão, na comunidade e no futuro de todos.

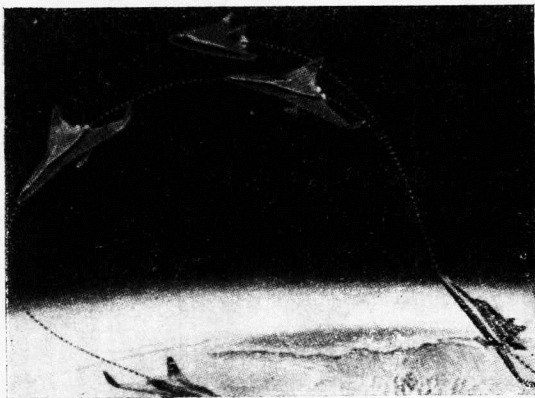
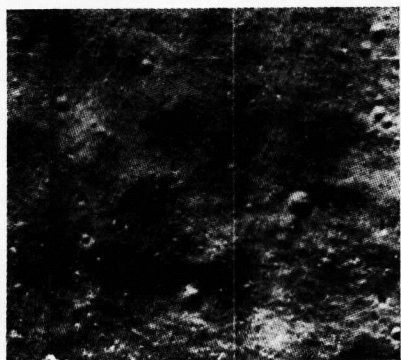
Estratégia do Desperdício — *Vance Packard* — 320 págs.
Como se aproveitam de nós os que inventam coisas de que não precisamos, como criam indústrias parasitárias, como vão minando nossa economia e nossos valores, como comprometem o nosso futuro — e como podemos lutar contra essa estratégia do desperdício.

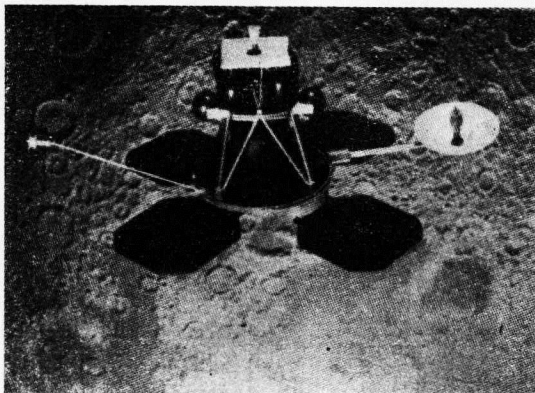
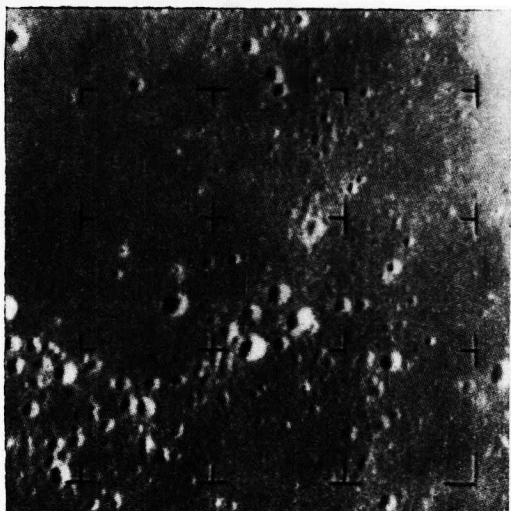
Fotografia da ignição dos motores de segundo estágio de um Saturno I. A fotografia foi tirada e trazida de volta pela cápsula-câmara.

Reentrada do míssel Júpiter, vista da ilha Antigua, semelhando estrêla cadente. A listra mais nítida é o foguete retropropulsor que cai; as outras listras luminosas são do compartimento instrumental e do cone do nariz.

Trinta e cinco módulos IBM com "ciscos" ULD formam página que se pode ligar à tomada. No dispositivo de orientação de um foguete há cento e cinquenta dessas páginas.

Em cima da borracha de um lápis, sete transístores-cisco.

(Da esquerda para a direita) Válvula de vácuo, transístor e transístor-cisco ou "dispositivo lógico unitário" (ponto dentro do círculo), usados nos computadores para foguetes.

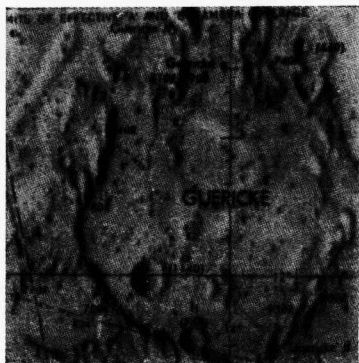
Amostra fotográfica, tirada com telescópio de longo alcance "Igor", de impressionante experimento científico a altitude de 104 quilômetros. Vê-se uma nuvem de gêlo formada quando o foguete Saturno I soltou 95 toneladas de água na atmosfera superior.

Dois homens operam, com rodas de direção manual, o telescópio rastreador "Igor", para tirar fotografias a longa distância, do comportamento de um foguete em ascensão.

A espaçonave Gemini manobra para aproximar-se do veículo-alvo Agena e a êle ancorar-se.

Foguete de escape para a cápsula lunar Apolo, de três homens, mostrada de cabeça para baixo em sua plataforma de prova, num ensaio de incêndio.

O navio rastreador *General Hoyt S. Vandenberg*, aqui apresentado em fotografia da Fôrça Aérea, é parte de uma frota que complementa as estações do Eastern Test Range, no continente e em ilhas.

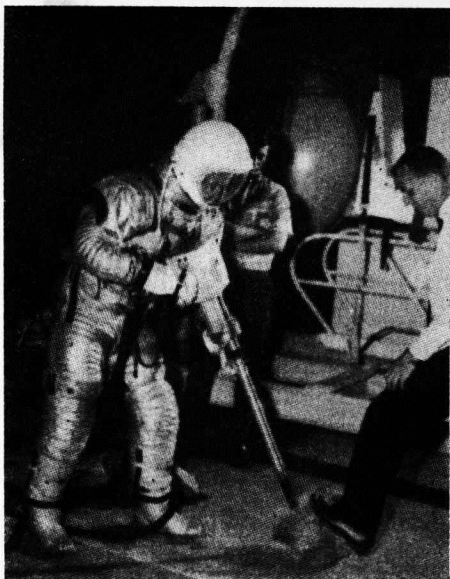
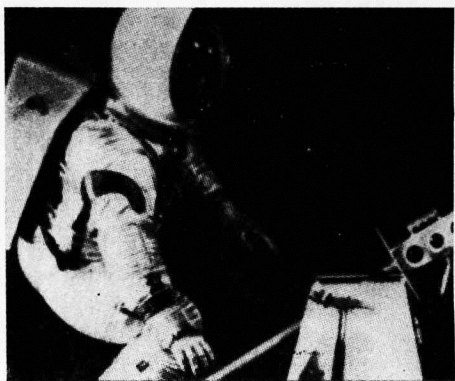
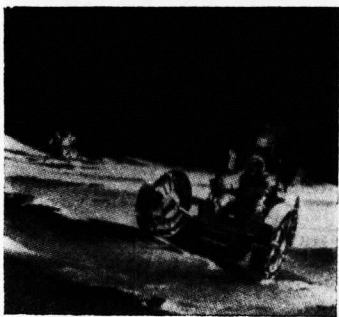
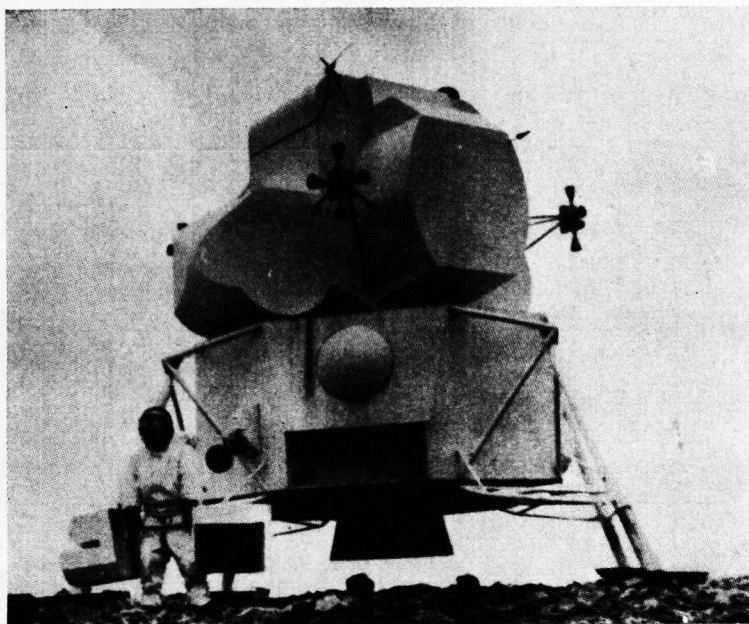
Plano de vôo para futuro lançamento com veículo recuperável. Um veículo de dois estágios decola como aeroplano e acelera em busca de alta altitude, com velocidade supersônica. O segundo estágio é separado e acelerado pela fôrça de seu próprio foguete até velocidade orbital, enquanto o primeiro estágio, alado, desce e retorna à base.

Simulacro de alunagem feito por *Popular Science,* vendo-se inserida uma fotografia Ranger da Lua, tirada a 50 quilômetros de distância, para mostrar como a lua parecerá ao astronauta.

Fotografia tirada pelo Lunar Orbiter 2, mostrando o rastro de um matacão que rola encosta abaixo. A marca do matacão prova claramente a firmeza da superfície lunar.

Modêlo de um Lunar Orbiter que "varreu" (ou esquadrinhou) a lua. O globo no centro do veículo abriga uma câmara com lentes no lado voltado para a lua.

Vista Ranger que abrange dois quilômetros quadrados e meio da superfície lunar.

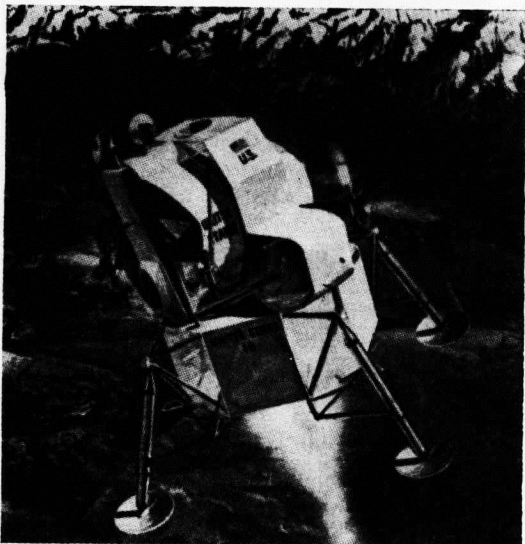
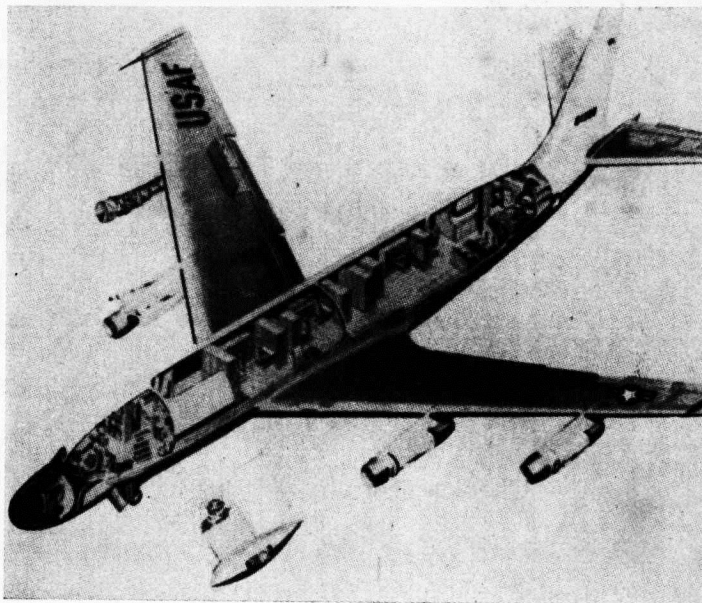
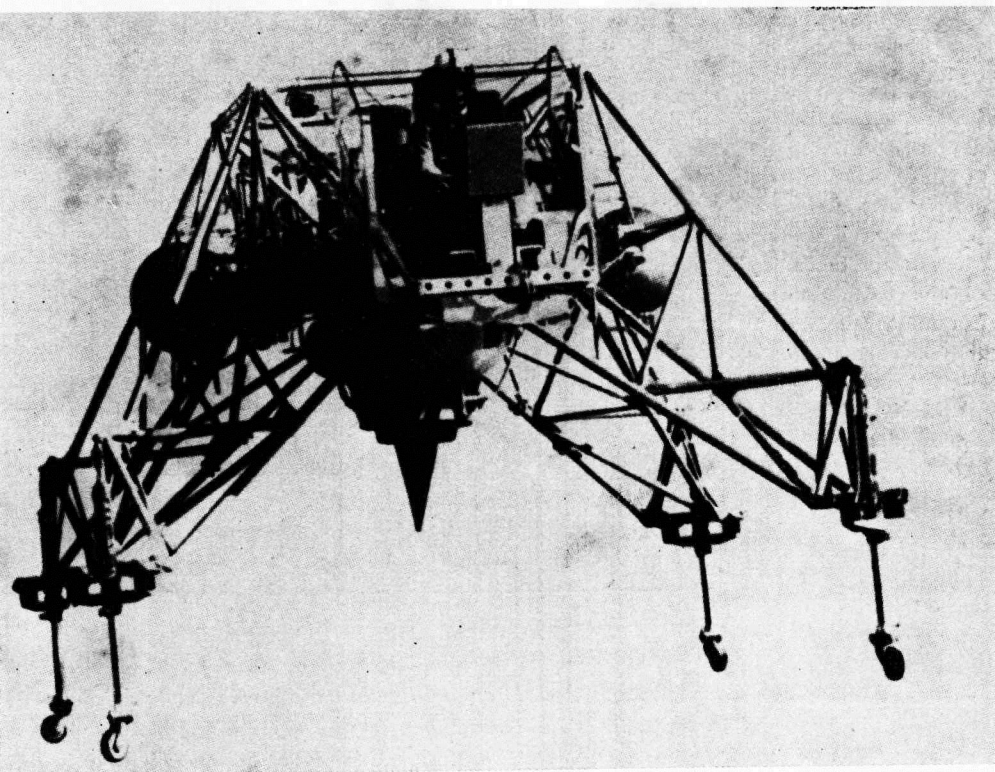
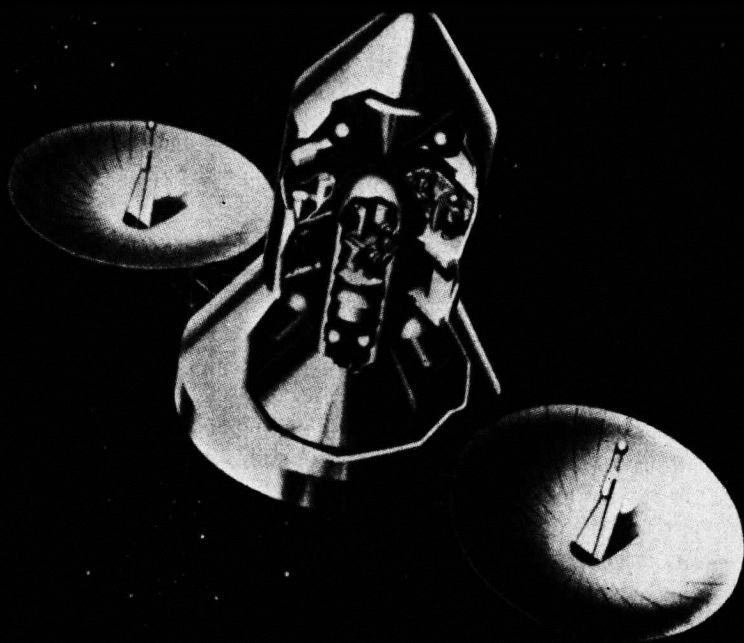
O navio de comunicações *Vanguard,* em que se transformou um petroleiro T-2, começa suas provas marítimas. Dois dêsses navios eriçados de antenas auxiliaram os primeiros vôos Apolo em tôrno da terra; cinco cooperam nos vôos à Lua.

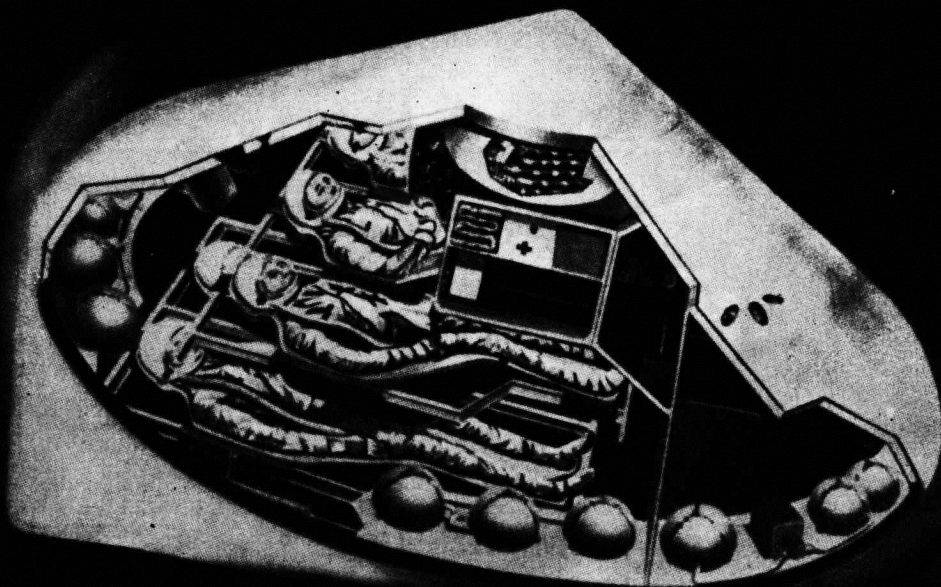
Mapa lunar da cratera Guericke feito pela Fôrça Aérea, baseado na fotografia Ranger da mesma cratera.

Fotografia Ranger da cratera Guericke tirada de 750 quilômetros, revelando pormenores tão pequenos como os de fotografias da própria terra.

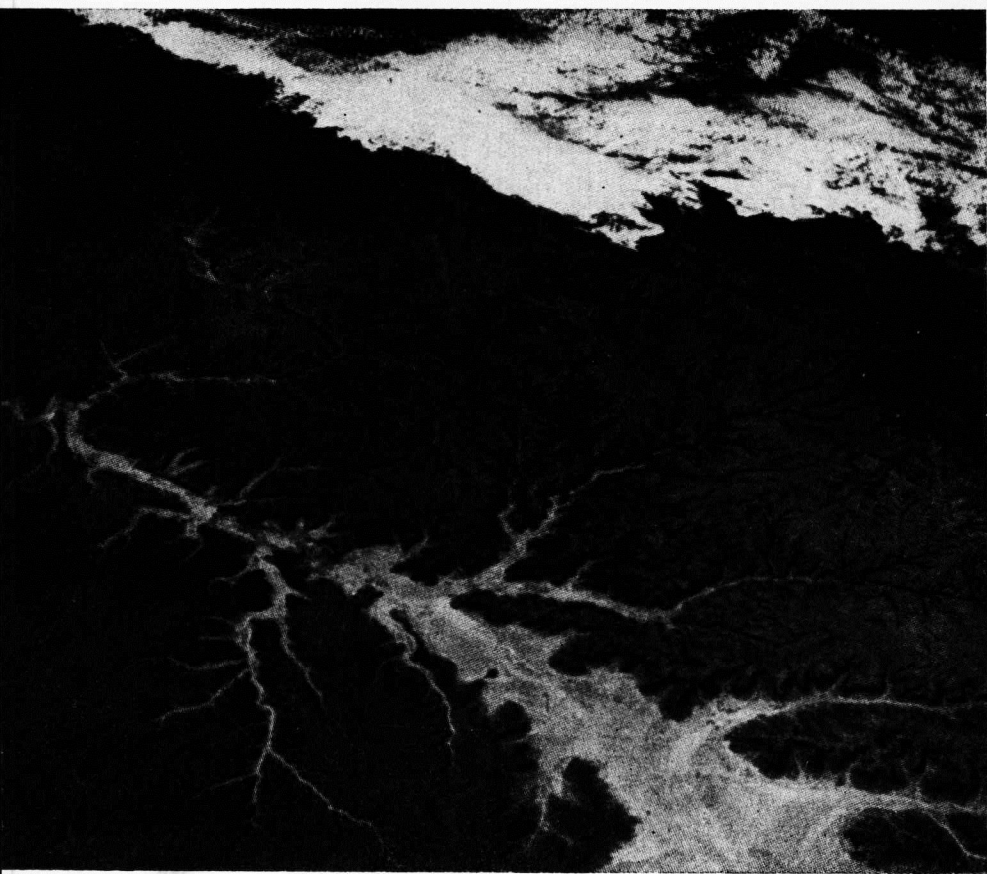
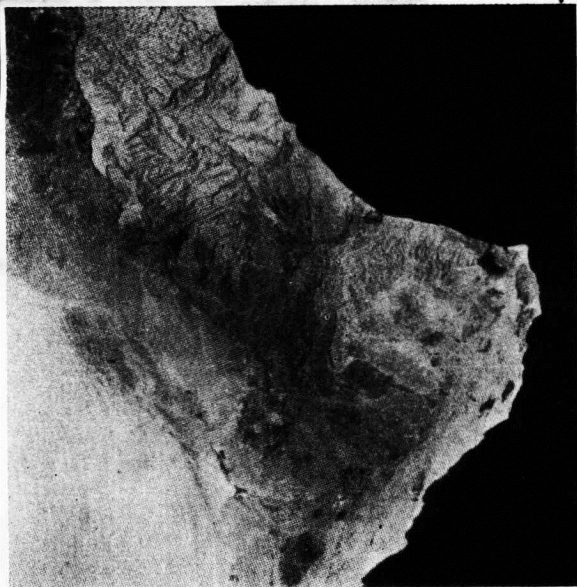
Trem de alunagem, com discos, do Módulo de Excursão Lunar, validado pelas fotografias da Lua. Revela-se adequado o seu pouso seguro na superfície acidentada da Lua, com inclinação de até 15 graus em relação à vertical.

No Manned Spacecraft Center, em Houston, Texas, experimenta-se uma perfuradeira movida a bateria, para cortar amostras de rocha sólida na superfície lunar.

Os primeiros astronautas que descerem na lua deixarão caixas com instrumentos que enviarão sinais informativos à terra depois que êles tiverem partido.

Êste simulacro mostra como o pacote de instrumentos será espalhado na superfície. O objeto negro à extrema direita representa a bateria atômica.

Êste "jipe lunar" poderia ser levado à lua na parte externa do LM-Abrigo.

Um LM-Abrigo, baixado na lua antes da descida dos astronautas, poderia servir de base de permanência por duas semanas. O abrigo é um módulo lunar modificado e não tripulado.

Cargueiros não tripulados, lançados por Saturnos V, poderiam pousar suavemente 15 toneladas na lua, abrindo caminho aos grandes laboratórios estacionários e móveis e, afinal, a bases tripuladas permanentes.

Um dos oito aviões de comunicações do projeto Apolo submete-se a provas na Base da Fôrça Aérea na Califórnia. A protuberância bulbosa no nariz contém antena que varre o céu para captação de voz e para telemetria, estabelecendo contato com a astronave a êsse respeito.

A descida de um LM na superfície lunar é simulada pelo Veículo de Pesquisa de Alunagem.

Um LLRV manobra sôbre o deserto da Califórnia durante uma de suas provas preliminares.

Desenho do "Módulo de Missão a Marte", da NASA. É espaçonave tripulada Terra-Marte, contendo duas outras cápsulas: um módulo de excursão, para descida na superfície do planêta, e um módulo de reentrada, para retôrno à Terra. Os apêndices em forma de disco, aos lados do módulo, são coletores solares para geração de fôrça durante a longa viagem interplanetária.

Para reentrada em plena velocidade, a tripulação deita-se em divãs dispostos em dois andares, para receber as fôrças G ao tocar a atmosfera terrestre, neste desenho que a NASA fêz de uma cápsula de reentrada de expedição a Marte. Como o dispositivo prescinde de frenagem por foguete, não se torna preciso enviar propelentes para êsse fim no percurso para Marte, e dêle à Terra.

Misteriosa formação na Mauritânia, constituída possìvelmente por impacto de meteoro, vista de órbita. Vistas como esta, da superfície terrestre a partir do espaço, podem ajudar geólogos e prospectores.

Topografia do Platô Árabe numa fotografia Gemini.

A ponta da Península Árabe é filmada pelo Gemini IV com nitidez igual à das vistas obtidas de avião.

Ruas de El Paso, Texas, fotografadas de mais de 160 quilômetros de altitude, no espaço.

Nascido no ano de 1912 em Wirsitz, Alemanha, Wernher von Braun conquistou o doutorado em filosofia aos vinte e dois anos na Universidade de Berlim. Êle e mais de cem colaboradores seus foram levados da base de Peenemünde aos Estados Unidos para continuar no Texas seus experimentos sôbre foguetes. Especialista em desenho e contrôle de foguetes, no desenvolvimento de grandes foguetes de combustível líquido, em estações geradoras para aviões-foguetes e mísseis teleguiados, o Dr. von Braun escreve uma seção permanente em *Popular Science Monthly* sôbre ciência espacial e é autor de *First Men to the* Moon, livro que alcançou enorme êxito.

FRONTEIRA DO ESPAÇO

WERNHER VON BRAUN

responde a perguntas como estas:

- Que acontece ao foguete propulsor no espaço?
- Como se abastecem os motores de combustível líquido com os propelentes?
- Por que um satélite permanece no espaço e como desce?
- Que é gravidade artificial?
- Como são rastreadas as astronaves?
- Que uso têm os "lasers" para os cosmonautas?
- Que aconteceu com as estações espaciais tripuladas?
- Que nos disseram as fotografias a respeito do vôo à Lua?
- Podem os navios e os aviões ser orientados por satélites?
- Como pode um astronauta saltar no espaço e viver?
- Que usará um astronauta na Lua?
- Poderemos ir às estrêlas?

LIVROS QUE CONSTROEM